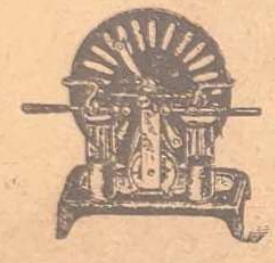
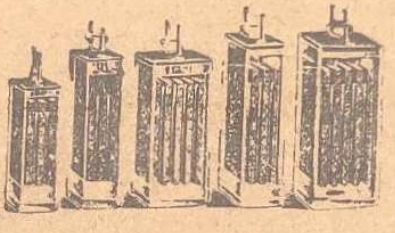
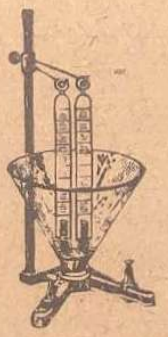
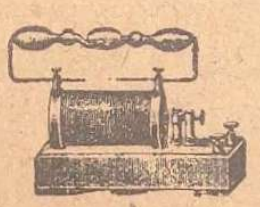
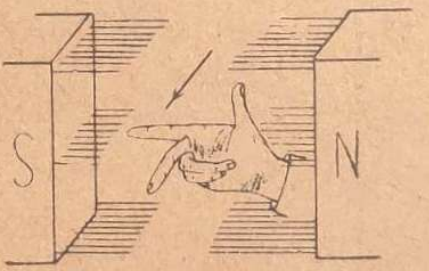
Mala elektrotehnika

I. svezak







Napisao

Profesor Antun Vukasović

u Splitu

Ima 60 slika

Vlastita naklada

26350

Mala elektrotehnika

I. svezak

Napisao

Profesor Antun Vukasović

u Splitu

Ima 60 slika

Vlastita naklada

Sva prava pridržana.

Tisak C. G. Rödera u Lipskom.
833121.

Mala elektrotehnika.

I. svezak.

Sadržaj:

	Str.
Predgovor	4
I. Što je elektrotehnika?	5
II. Magnetizam i magnetska igla. Elektriciteta i električna igla. Silnice. Polja. Zakoni. Mere	5
III. Elektrostatski strojevi i aparati	17
IV. Galvanski elementi (ili primarni elementi)	20
V. Akumulatori (ili sekundarni elementi)	27
VI. Spajanje elemenata	29
VII. Ohmov zakon	30
VIII. Maksimum strujine jakosti	32
IX. Elektromotorna napetost E i napetost na stezaljkama E'	34
X. Nekoliko zadataka	35
XI. Kirchoff-ovi zakoni	36
XII. Malo računanja	38
XIII. Postupanje z galvanskim elementima i akumulatorima	42
XIV. Učinci topline i svetla	44
XV. Elektroliza i Faraday-evi zakoni	45
XVI. Upliv struje na magnet i Ampère-ovo pravilo	50
XVII. Solenoid i elektromagnet	50
XVIII. Galvanometri (Ampermetri, Voltmetri)	51
XIX. Tangentna busola	53
XX. Reostati	54
XXI. Indukcija i vlastita indukcija	54
XXII. Induktori	56
XXIII. Mali dinamostrojevi i elektromotori	58
XXIV. Električna energija	60
XXV. Transformatori	62

Predgovor.

Svaki onaj, koji se zanima za elektrotehniku, može da nađe u ovoj knjizi nešto za sebe. Ako tko ne poznaje toliko računanja, koliko ga ovde ima, taj se dakako mora zadovoleti samo tim, da upozna malu elektrotehniku s kvalitativne strane, al i to je zanimiv rad. Dosta se toga i u velikoj elektrotehnici izvodi bez ikakva računanja ili samo na temelju procenjivanja, koje ne zahteva mnogo specijalne veštine, pa to isto vredi i ovde u maloj elektrotehnici. Dakako da onaj, koji već poznaje i matematiku i fiziku, kao na pr. učenik srednjih škola, može da iz rabi mnogo ili sve što je ovde navedeno, može pače da nadopuni svoje znanje o elektriciteti, što uči u fizici i može da dobije neke početne temelje kao uputu u veliku elektrotehniku.

I. Što je elektrotehnika?

Elektrotehnika je grana tehnike; to je praktična primena poglavlja fizike, koje se zove „elektrika“ ili „nauka o elektriciteti“. Današnja moderna tehnika najviše je napredovala baš u ovoj grani: elektrotehnici.

Elektriciteta je energija (t. j. snaga) osobite naravi i vrlo podesna oblika; dade se preko metalnih žica (a u maloj meri i bez žica) lako i daleko u prostoru preneti, dade se lako pretvarati u sve druge vrste snage, tako u svetlo, toplinu, mehaničku snagu, zvuk, hemijsku snagu, pa se prema tome razviše posebni ogranci elektrotehnike: električna rasveta i električno grejanje, elektromehanika, električna telegrafija i telefonija (t. zv. „tehnika slabe struje“), i najzad galvanotehnika, t. j. primena elektrohemije u praksi, a glavne su joj česti: elektrometalurgija, galvanostegija i galvanoplastika.

Mala elektrotehnika imitira veliku a u malom stilu, upotrebljujuć relativno slabe izvore elektricitete. Al ova elektriciteta, i ako slaba, može da pruža nemalu praktičnu korist.

II. Magnetizam i magnetska igla. Elektriciteta i električna igla. Silnice. Polja. Zakoni. Mere.

„**Magnet**“ zove se ono železo, koje ima svojstvo, da nekom silom privlači drugo železo a nešto slabijom silom i neke druge tvari (kao na pr. nikalj). To se svojstvo

magnetâ zove „magnetizam“. Ima prirodnih i umetnih magneta. Prirodni se nalaze u prirodi pod imenom „magnetit“, dok se umetni prave umetnim načinom. Zgodnim potezima jednog ili dvaju magneta preko čelika dobiva se od čelika trajan magnet (Vidi u XVII^{om} poglavlju pravljenje umetnih magneta putem električne struje!) Svaki magnet ima na krajevima najveću jakost; ovi mu se krajevi zovu polovi i to: severni i južni pol. Između istoimenih polova dvaju magneta postoji odbojna sila, a između protuimenih polova dvaju magnetâ ili jednog samog postoji privlačiva sila. Ova se sila, toli odbojna koli privlačiva, zove „magnetska sila“, ona je tim manja, čim su polovi dalji. Coulomb-ov, zakon za magnetsku silu glasi: $f = \pm \frac{\mu \mu_1}{r^2}$, gde su μ i μ_1 magnetske množine dvaju magnetskih polova a r njihova međusobna daljina, te predznak + vredi za odbojnu a — za privlačivu silu. Rečima: Magnetska je sila upravno razmerna s magnetskim množinama a obratno razmerna s kvadratom njihove međusobne daljine.

No magnet privlači i meko železo, jer se ovo, kad je blizu magneta, pretvara u takozvani „privremeni magnet“. Kaže se da ovakovo železo dobiva magnetizam „influencijom“. Polovi su u železu tako porazmešteni, da je polu magneta najbliži protuimeni pol železa, pa zato privlačiva sila nadmašuje odbojnu i konačni je rezultat baš privlačenje. Al meko železo odmah gubi svoj magnetizam, netom ga udaljimo od magneta.

Prostor, u kojem deluje magnetska sila, zove se „magnetsko polje“. U njemu su magnetske silnice, naime crte, što kazuju smerove takovih sila. Teorija, koja izbija iz Coulomb-ova zakona, veli, da je svako magnetsko polje beskonačno veliko, jer u svakoj makar kolikoj daljini od magnetskog pola postoji ipak neka i ako mala sila, kojom taj pol ili privlači ili odbija svaki drugi pol. Al u praksi se pod magnetskim poljem shvata samo onaj (prilično malen) prostor oko magneta, gde je još zametljivo delovanje magnetske sile.

Deo magnetskog polja, gde su silnice međusobno paralelne, zove se „homogeno magnetsko polje“. Takovo se polje nalazi na pr. u prostoru između dvaju polova magnetske potkove. Al isto je tako homogeno polje i razmerno vrlo malen deo nopšte svakog polja, jer se u tako malenu polju magnetske silnice smeju smatrati paralelnima. Zato se i magnetsko polje naše Zemlje, ako se ne uzima u celini nego u ograničenu i razmerno malenu prostoru, zove „homogeno polje zemaljskog magnetizma“. Zemlja se naša smatra naime kao velik magnet z dva magnetska pola: južni magnetski pol leži negde u severnoj Americi na poluostrvu „Boothia Felix“, dočim severni magnetski pol leži negde na protivnoj strani, u blizini južnog geografskog pola.

Magnetska je igla malen i lagan magnet, koji se može slobodno okretati bilo oko vertikalne, bilo oko horizontalne osi. U prvom se slučaju magnetska igla zove „deklinatorna“ a u drugom „inklinatorna“. Magnetski su meridijani ravnine, u kojima leže silnice zemaljskog magnetskog polja. Ove se ravnine sve seku u takozvanoj magnetskoj osi, na čijim se krajevima nalaze dva magnetska pola Zemlje. Pošto se ovi polovi ne podudaraju tačno z geografskim polovima, zato su i magnetski meridijani sad više sad manje otklonjeni od geografskih meridijana, t. j. tvore medusolno veće ili manje „kutove otklona“ (kutove deklinacije). Ove kutove kazuje „deklinatorna igla“:

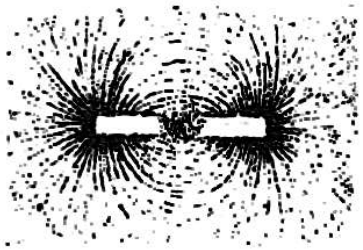
Sl. 1.

Ova igla pokazuje jednim svojim krajem negde prema severu a drugim negde prema jugu, pa buduć to isto čini i svaki magnetski štapić, koji se može slobodno okretati oko vertikalne osi, zato se krajevi svakog magneta zovu: severni, odn. južni pol.

Ako se malena i u okretanju potpuno slobodna*) magnetska igla dovede u magnetsko polje kojeg magneta,

*) Na pr. magnetska igla na Cardanovim osima.

ona se postavi u smer silnicâ na tom mestu, t. j. poprimi smer rezultante svih magnetskih sila, koje deluju na iglu. Magnetske se silnice dadu eksperimentno prikazati železnom pilotinom, kojom se pospe karton ili tanka staklena ploča, a ispod toga ima jedan magnet (ili više njih). Železna se pilotina svrstava u stanovite krivulje, koje nam najzornije predočuju magnetske silnice:



Sl. 2.

Smer silnicâ znači onaj smer, kojim bi se gibala množina severnog magnetizma, a taj smer ide od severnog magnetova pola preko silnicâ prema južnom polu.

Elektriciteta je svojstvo materije, da ova privlači svaku drugu laganu materiju i da ju nakon doticaja odbije.

Tako glasi prvobitna definicija elektricitete. Ime „elektriciteta" potiče od starogrčke reči elektron = jantar, jer se je najprê na jantaru zapazilo to svojstvo. Kašnje se je našlo da staklo i kaučuk postaju trenjem također električni, a najzad se je ustanovilo, da više ili manje svako telo (uz neke mere opreza) može da pokaže nakon trenja električno svojstvo, t. j. može da privlači i nakon toga odbije malene i lagane predmete kao na pr. malene komadiće papira, malene krugljice od bazgove srčike i t. d.

No elektriciteta se danas definira kao osobita energija (snaga) etera. A eter je opet osobita vrlo fina i vrlo elastična materija, koja ispunja ceo svemir te zadire među molekule obične materije i prodire pače unutar molekula izmed samih atoma*). Ta se energija sastoji u osobitim deformacijama

*) Konstrukcija se obične materije zamišlja ovako: Svako je telo sastavljeno od vrlo malenih česticâ koje se zovu „molekule", a ove se opet dele na još manje čestice, takozvane „atome".

i gibanjima etera, a očituje se ne samo pod oblikom električnih nego i magnetskih pojava.

Hipoteza o fluidima. Premda je hipoteza o električnim fluidima znanstveno zabačena, ipak se ovom hipotezom još danas služimo, al samo zato, da lakše memoriramo ono mnoštvo električnih pojava, jer se ovi baš tako zbivaju, kao da bi sama hipoteza bila ispravna, i osim toga da uzmognemo upotrebiti dosadašnji način računanja u elektrici. Ta hipoteza glasi:

U svakom telu postoje dva fluida: pozitivni i negativni fluid, koji su međusobno ispremešani, kad je telo neelektrično. Al ako negde na kojem telu ima u pretežnoj meri samo jedan fluid, onda je telo na tom mestu električno.

Prema toj hipotezi elektriciteta je fluid a postoje samo dve vrste toga fluida:

elektriciteta stakla ili pozitivna elektriciteta i elektriciteta kaučuka ili negativna elektriciteta.

Telesa se elektriziraju trenjem, uplivom blizih već električnih predmeta (influencijom, o čemu je govora kašnje) i prelaženjem elektricitete s jednog tela na drugo preko mesta doticanja.

Množina elektricitete znači množinu električnog fluida.

Predmet i tarivo postaju trenjem protivno električni. Na pr. staklen štapić postaje pozitivno električan, a svilena tkanina, kojom ga taremo, postaje negativno električna; ako pak taremo štapić od ebonita (tvrdog kaučuka) lisičinom dlakom, ebonit će biti negatino električan, a dlaka pozitivno električna.

Coulomb-ov zakon za električnu silu:

$$f = \pm \frac{\epsilon \epsilon_1}{r^2},$$

t. j. električna sila, kojom se dva električna fluida (ili pak dva predmeta, na kojima su ti fluidi) međusobno odbijaju ili privlače, upravno je razmerna s električnim množinama, a obratno je razmerna s kvadratom njihove međusobne daljine. Za električnu silu vredi dakle isti zakon kao i za magnetsku silu, samo što se ovde govori o električnim

množinama, a kod magnetâ je govora o magnetskim množinama (ili o jakostima polovâ). Kao što postoji magnetsko tako postoji i električno polje, t. j. prostor u kojem deluje zametljiva električna sila. Postoje dakle i „električne silnice". Smer električne sile u raznim mestima kojeg električnog polja kazuje „električna igla":

Sl. 3.

To je lagan držak (na pr. od staklene cevi) z dve šuplje metalne krugljice na krajevima, a može se okretati u horizontalnoj ravnini. Kad se jedna krugljica nabije pozitivnom a druga negativnom elektricitetom, ova će se igla u električnu polju postaviti uvek u smer silnicâ.

Ako zamislimo da je negde pozitivna elektriciteta koncentrisana sva u jednoj tački, onda električne silnice izlaze iz te tačke kao zrake iz svog ishodišta, pa takovo polje ima oblik pramena zrakâ. Ako pak mesto pozitivne elektricitete zamislimo u istoj tački negativnu elektricitetu, slika će električnog polja biti ista, samo će zrake imati smer prema onoj tački.

Dobri i loši vodići elektricitete (t. j. konduktori i izolatori). Sve su kovine dobri vodići elektricitete, t. j. po njima se elektriciteta slobodno širi; al osim kovina ima i drugih tvarî, koje su također više ili manje konduktori, a to su: uglen, vlažno drvo, vlažan papir i uopšte vlaga, čovečje i životinjsko telo i t. d. Izolatori su: svila, staklo, kaučuk, jantar, vosak, parafin, alkohol, ulje, suh zrak i t. d.

Smeštaj elektricitete. Pokusi pokazaše, da se elektriciteta smeštava sva samo po vanjskoj površini konduktora, pa zato su konduktori ponajviše šuplja telesa.

Na izolatorima elektriciteta ostaje sva onde gde je nastala, pa zato ona može da postoji i u nutrini kojeg izolatora ako ju na pr. onamo uvedemo.

Električna gustoća. Na površini krugljasta konduktora elektriciteta je svugde jednake gustoće, jer kruglja ima svugde na svojoj površini istu krivinu. No na drukčijim konduktorima (na pr. na valjku) nije elektriciteta svugde jednako gusto porazmeštena, nego je onde gušća, gde je krivina veća (na bazama valjka električna je gustoća najmanja, na pobočju je srednja a na obodima bazâ najveća). Ako na kojem konduktoru ima šiljak, elektriciteta je najgušća na tom šiljku.

Napetost elektricitete ili potencijal.

Što je u kalorici temperatura, to je u elektrici „električni potencijal" ili „električna napetost". Čim je veća električna napetost, tim je jače i gibanje elektricitete ili njezino nastojanje da se giblje, ako je potpuno izolirana. Ako se dva elektricitetom nabivena konduktora međusobno spoje kakvim vodićem (na pr. metalnom žicom ili metalnim lancem), onda će da pređe elektriciteta s konduktora veće napetosti na konduktor manje napetosti isto kao što i toplina prelazi s mesta više na mesto niže temperature. Gde je gustoća elektricitete velika, tu je i napetost velika, pa tako se tumači pojav, da elektriciteta izbija iz šiljaka (električni vetar). Elektriciteta prelazi s jednog konduktora na drugi dotle, dok im se napetosti ne izjednače.

Konduktor se nabija također elektricitetom, koja dolazi direktno s kojeg električnog stroja. Ako je konduktor spojen sa Zemljom, on se uopšte ne da nabiti, jer mu elektriciteta odilazi u Zemlju. Al ni izoliran se konduktor, ako na njemu ima šiljaka, ne da nabiti, jer mu sva elektriciteta izlazi iz šiljaka van. I konduktori z bridovima gube ubrzo elektricitetu. Potpuno obli konduktori zadrže elektricitetu najduže vremena.

Električni potencijal (naime električna napetost) V i električna množina ϵ zavise međusobno ovako:

$$\epsilon = C \cdot V.$$

To su dve upravno razmerne veličine, a veže ih konstanta razmernosti C, koja se zove „kapaciteta".

Kapaciteta je za isti konduktor uvek jednaka, pa čim je na kojem konduktoru veća električna množina, tim je i električni potencijal veći. Veliki konduktori imadu i veću kapacitetu, t. j. mogu da prime veću množinu elektriciteta pri istom potencijalu.

Definicija električnog potencijala glasi:

$$V = \frac{\epsilon_0}{r},$$

a računom se dolazi do zaključka, da veličina $\frac{\epsilon_0}{r}$ predstavlja radnju, koju je potrebito izvršiti, da se pozitivna jedinica električne množine dovede iz neizmernosti do u daljinu r od stanovite tačke, gde se zamišlja nepomična električna množina ϵ_0. Ako treba iz neizmernosti do istog mesta dovesti ne jedinicu nego množinu ϵ onda se vrši radnja $V\epsilon = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon}{r}$. Dakle ta je radnja jednaka umnošku potencijala (V) i električne množine (ϵ).

Na plosi krugljasta konduktora s poluprečnikom r, gde je na površini električna množina ϵ — koja se obzirom na njezino delovanje prema vani sme zamisliti kao da je sva sakupljena u samom središtu — vlada potencijal (t. j. napetost) $V = \frac{\epsilon}{r}$.

Otale izlazi $\epsilon = rV$, pa uspoređujuć ovu formulu s već poznatom formulom: $\epsilon = C \cdot V$ lako se razabire, da je kapaciteta C krugljasta konduktora baš jednaka njegovu poluprečniku r.

Kao što se u kalorici za početnu temperaturu od 0° uzima temperatura leda, koji se tali (jer je takovu temperaturu lako svaki put ustanoviti), tako se za početni potencijal u elektrici uzima potencijal Zemlje i daje mu se vrednost nule.

Električna influencija. Ako električno telo približimo neelektričnom konduktoru, koji stoji izolirano (na pr. na staklenom stalku), onda se ispremešani fluidi na konduktoru rastave tako, da se protuimeni fluid prikupi bliže a istoimeni dalje od električnog tela. Protuimeni se fluid zove također „vezana elektriciteta“, jer nju privlači električno telo, dočim se istoimeni fluid, što ga električno telo od sebe odbija, zove „slobodna elektriciteta“. Ovu slobodnu elektricitetu možemo odvesti u Zemlju, kad se na pr. prstom dotaknemo konduktora. Ako udaljimo električno telo od konduktora, nakon što smo njegovu slobodnu elektricitetu odveli u Zemlju, ostat će i raširit će se po njemu ona prê vezana elektriciteta i konduktor će imati električan naboj. Eksperimenti na pr. pomoću električne igle potvrđuju ovaj važni elektrostatski pojav, na kojem se temelji nov način dobijanja elektricitete, gde se bez trenja mehanička snaga pretvata u električnu, a temelji se osim toga i mogućnost sakupljanja većih množina elektricitete.

Kondenzatori su sakupljači elektricitete. To su zgodno sastavljeni konduktori. U njima se poradi influencije uzajamno vežu dosta velike množine elektricitete, koje ne uplivaju ništa na njihov potencijal, pa zato oni mogu da prime vrlo velike električne množine, t. j. mogu da dobiju jake naboje.

Najprostiji kondenzator je Franklinova ploča, t. j. staklena ploča obložena s jedne i druge strane staniolom. Dok se na jedan oblog staniola dovodi elektriciteta, na pr. s kojeg elektrostatskog stroja (ili s kojega konduktora, koji se u više navrata nakon ispražnjenja iznova elektrizira), dotle je drugi oblog staniola spojen sa Zemljom.

Krugljast kondenzator je krugljasto šuplje telo od izolatora (na pr. stakla) s vanjske i s unutarnje strane obloženo metalom (na pr. staniolom). Njegov vanjski oblog stoji u spoju sa Zemljom, a na unutarnji se oblog dovodi elektriciteta. A mogu na pr. biti dve koncentrične šuplje metalne kuglje, između kojih je zrak kao izolator.

Kondenzatori imadu kud i kamo veću kapacitetu nego li prosti konduktori iste veličine. Dok je kapaciteta krugljasta konduktora $C = r$, kapaciteta je krugljasta konden-

zatora $C = K \frac{O^*)}{4\pi d}$. Tu je O opošje kruglje, d debljina izolatora (naime daljina dvaju metalnih obloga) a K konstanta razmernosti, prozvana „dielektrična konstanta". Ova je za zrak ili prazni prostor (zapravo: eter) jednaka jedinici, no za svaki drugi izolator veća; za staklo je dosta velika a varira prema vrsti stakla između 3 i 9.

Ista gornja formula vredi dosta tačno i za druge kondenzatore raznih oblika, ako je debljina izolatora (koji se zove također „dielektrikum") malena prema ploštini O jedne metalne plohe.

Zašto natrt staklen štap privlači komadiće papira i zatim ih odbija, tumači se ovako: Pozitivna elektriciteta štapa influencira u komadiću papira još prije privlačenja dve protuimene elektricitete, pa buduć su pozitivna elektriciteta štapa i negativna elektriciteta papira međusobno najbliže, prevladava privlačiva sila, a kad se kod doticaja negativna elektriciteta papira ukine s jednakom količinom pozitivne elektricitete štapa, preostaje samo odbojna sila između pozitivne elektricitete papira i preostale pozitivne elektricitete na štapu, pa zato onda nastaje odbijanje.

Mere. Za dobro poznavanje svih jedinica mere, kojima se služi elektrotehnika, potrebito je prê toga znati za neke temeljne jedinice mere, koje dolaze u mehanici.

Po apsolutnom t. zv. cm — gr — sec — sistemu merenja	Po tehničkom sistemu merenja
Jedinica dužine:	
1 cm (centimetar), t. j. 4000000000ti (četirtisućmilijunti) deo opsega Zemlje,	1 m (metar), t. j. 40000000ti (četrdesetmilijunti) deo opsega Zemlje,
ukratko: 1 cm $= \frac{1}{4{,}10^9}$ opsega Zemlje.	1 m $= \frac{1}{4{,}10^7}$ opsega Zemlje.

*) Slovo π znači broj 3,1416, takozvani „Ludolfov broj".

Po apsolutnom t. zv. cm — gr — sec — sistemu merenja	Po tehničkom sistemu merenja
Jedinica vremena:	1 sec (sekunda), t. j. 86400ti (osamdesetšesttisućičetirstoti) deo trajanja jednog okreta Zemlje oko osi, ukratko: 1 sec $= \frac{1}{86400}$ okreta Zemlje.
Jedinica mase:	
1 gr (gram), t. j. masa, koju ima 1 cm³ destilirane vode pri 4° C.	„masa 1", t. j. masa, koja teži 9,81 kg (na pr. uteg od 9,81 kg težine*).
Jedinica sile:	
1 din, t. j. ona mala sila, koja masi od 1 gr daje ubrženje od 1 cm (na sekundi).	1 kg, t. j. ona sila, kojom masa od 1 kg (= 1000 gr) tlači ili vlači, na pr. sila, kojom uteg od 1 kg tlači na podlogu, ako na njoj leži, ili vlači nit, ako o njoj visi.

Jednadžbe, koje kažu prelaz iz jednog sistema u drugi:

$1\text{ cm} = \frac{1}{100}\text{ m} = 0{,}01\text{ m}$ ili $1\text{ m} = 100\text{ cm}$

$1\text{ gr} = \frac{\text{„masa 1"}}{9{,}81 \cdot 1000} = \frac{1}{9810}$ mase 1 ili „masa 1" $= 9{,}81\text{ kg} = 9810\text{ gr}$

$1\text{ din} = \frac{1}{981000}\text{ kg}$ ili $1\text{ kg} = 981000$ dina

Po prilici: 1 din ≈ 1 miligram 1 kg ≈ milijun dina

Magnetske i električne jedinice.

Jedinica magnetske množine ili jedinica polne jakosti.

*) Ubrženje je sile teže: g = 9,81 m (= 981 cm) na sekundi.
Formula za silu glasi: f = m.a, t. j. sila = masa x ubrženje.
Otale formula za masu: $m = \frac{f}{a}$, t. j. omer sile spram ubrženja.

Iz Coulomb-ova zakona za magnetsku silu:

$$f = \pm \frac{\mu \mu_1}{r^2}$$

izlazi za $\mu = \mu_1 = 1$ te $r = 1$, da je i $f = 1$. Uzme li se za jedinicu sile 1 din, onda jedinica magnetske množine ($\mu = 1$) znači onu magnetsku množinu, koja drugu isto toliku množinu u daljini od 1 cm privlači odnosno odbija silom od 1 dina.

Jedinica električne množine.

Iz sličnog Coulomb-ova zakona za električnu silu:

$$f = \pm \frac{\epsilon \epsilon_1}{r^2}$$

izvodi se i slična definicija za jedinicu električne množine: To je ona električna množina, koja istu toliku množinu u daljini od 1 cm privlači odn. odbija silom od 1 dina. No ova apsolutna množina, t. z. elektrostatska jedinica električne množine, vrlo je malena, pa se kao praktična jedinica rabi 3000000000 (trimiljarde) puta veća množina a zove se u počast fizičaru Coulomb-u „1 Coulomb".

Dakle: 1 Coulomb $= 3 \cdot 10^9$ elektrostatskih jed. el. mn.

Jedinica električnog potencijala (ili jedinica električne napetosti).

Iz definicije potencijala:

$$V = \frac{\epsilon_0}{r}$$

izlazi, da je za $\epsilon_0 = 1$ te $r = 1$ također $V = 1$, t. j. apsolutnu jedinicu električnog potencijala ima krugljasti konduktor s poluprečnikom od 1 cm, kad je na njemu apsolutna (naime elektrostatska) jedinica električne množine ili — što je svejedno — $\frac{1}{3000000000}$ Coulomba, t. j. jedna trimiljardetina Coulomba.

Al ova je jedinica potencijala ipak prevelika, pa se zato uzimlje njezin 300ti deo kao praktična jedinica s nazivom „1 Volt".

Dakle: 1 Volt $= \frac{1}{300}$ apsolutne jedinice el. potencijala.

Jedinica kapacitete.

Prema formuli $\epsilon = CV$, t. j. $C = \frac{\epsilon}{V}$ izvodi se ova praktična jedinica za kapacitetu:

$$1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}} = \frac{3.10^9 \text{ aps. jed. el. mn.}}{\frac{1}{300} \text{ aps. jed. pot.}} = 9.10^{11} \text{ cm}$$
$$= 9.10^9 \text{ m} = 9.10^6 \text{ km} = 9 \text{ milijuna km.}$$

Dakle kapacitetu od 1 Farada imao bi krugljasti konduktor s poluprečnikom od 9 milijuna kilometara.

I milijun puta manja jedinica kapacitete, „1 mikrofarad", uvek je još velika:

1 mikrofarad = 9 km.

III. Elektrostatski strojevi i aparati.

Winter-ov stroj. Vrtnjom staklene ploče, koja se tare o amalgamiranu kožu, nastaje na staklu pozitivna a na tarivu negativna elektriciteta. Metalni šiljci upijaju pozitivnu elektricitetu sa stakla i odvode je na konduktor. Negativna se elektriciteta može direktno odvoditi na drugi konduktor. Kad su dva konduktora dovoljno blizu ili kad se negativna elektriciteta dobrim vodičem na pr. metalnim lancem dovede do blizu pozitivnog konduktora, skaču električne lskre. No takove iskre skaču i kod prelaza elektricitete s konduktora na Zemlju, kad se na pr. čeljade približi konduktoru vrhom ili zglobom prsta.

Sl. 4.

Ovim se strojem troši mnogo snage u trenje, pa se on danas upotrebljava tek u fizičkim laboratorijima i to samo primera radi.

Elektrofor. Najpre se lisičjim repom izmlati donja ploča od ebonita (kaučuka), pa se tako dobije na istoj ploči za duže vremena nešto negativne elektricitete. Tad se postavi na nju gornja (šuplja*) metalna ploča, koju se hvata za

Sl. 5.

*) Šuplja zato, jer se ionako elektriciteta smeštava samo po njezinoj vanjskoj površini.

izolirani držak. Na ovoj se ploči uzbude influencijom dve elektricitete: pozitivna (donja), takozvana „vezana“ i negativna (gornja), takozvana „slobodna“. Sad se takne prstom gornja ploča (a to ne treba, kad je kao na slici prilepjen trak stanijola preko ruba a na obe strane ebonitne ploče); tim se slobodna elektriciteta odvede u Zemlju, a vezana ostane još na donjoj strani. Zatim se makne prst, uhvati se rukom za držak i digne se gornja ploča. Netom se gornja ploča udalji od donje, raširi se po celoj vanjskoj površini gornje ploče pozitivna elektriciteta, koja je malo prê bila vezana. Nakon što se ova elektriciteta bilo u što upotrebi — ponajrađe se njom nabijaju kondenzatori (na pr. Leydenske boce) — i tako metalna ploča isprazni, opet se ova metne na ploču od kaučuka (koju ne treba više mlatiti), pa se opet uzbude dve vrste elektricitete i onda se ponavlja isti postupak:

Metalna se ploča digne i isprazni (nabije se na pr. Leydenska boca) pa se opet metne natrag na ebonitnu ploču i t. d.

Tim se postupkom može nabiti mnogo kondenzatora, mogu se dakle bez trenja — sem u prvom početku — dobijati velike množine elekricitete. Ovim se strojem velik deo mehaničke snage pretvara u električnu.

Sl. 6.

Wimshurst-ov stroj najbolji je dosada elektrostatski stroj. To je „doterani elektrofor“. Mesto nezgodnog dizanja i spuštanja gornje ploče elektrofora, na Wimshurst-ovu se stroju vrte dve ploče od ebonita (međusobno protivnim smerovima) pa između dvaju protuimenih konduktora (dviju metalnih krugljica) skaču česte električne iskre. Ako se pak ovi konduktori spoje z dvema Leydenskim bocama, koje se nalaze spreda na istom stroju, onda skaču između konduktorâ ređe al duže i jače iskre.

Sl. 7.

Leydenska boca služi za sakupljanje elektricitete. To je staklena boca obložena iznutra i izvana staniolom („Savinuta Franklinova ploča“). Pri nabijanju vodi se elektriciteta na unutarnji oblog preko metalne kuglice i metalne šipke. Od dviju influenciranih elektriciteta na vanjskom oblogu ostaje samo „vezana elektriciteta“, dočim slobodna ide na Zemlju, jer je pri nabijanju boce njezin vanjski oblog u spoju sa Zemljom (tim što je boca postavljena na metalnu podlogu ili već samo tim što stoji na običnu stolu*). Leydenska boca srednje veličine može da ima kapacitetu otprilike oko 0,001 Mikrofarada.

Sl. 8.

Leydenska baterija. Ovde je više bocâ spojeno ujedno, pa se na njima može sakupiti i velika množina elektricitete. Kod ispražnjenja baterije skače jaka električna iskra, koja kod prolaza elektricitete preko čovečjeg tela može da prouzrokuje u telu jak fiziološki učinak: vrlo osetljiv trzaj. Kod većih Leydenskih baterija električna iskra može i ubiti čeljade, dočim manje baterije mogu da usmrte manje životinje kao miša, žabu i t. d.

Elektroskop i elektrometar.

Sl. 9.

Elektroskop je sprava za utvrđivanje, da li je koje telo električno, i ako jest, koja je elektriciteta na njemu. Kad elektriciteta uđe u ona dva listića od staniola, onda ovi divergiraju, a kad je nestane, opet se sklope.

Sl. 10.

Elektrometar je sprava slična elektroskopu. Na njegovoj se skali čita, kolika je električna napetost tela, koje je u tu svrhu dobrim vodićem (na pr. metalnim lancem) spojeno s njim.

Prelaz elektricitete preko kojeg vodića s jednog mesta na drugo (na pr. s jednog konduktora na drugi) zove se „električno strujanje“. Ako se vodić negde prekine, električno će strujanje ili sasvim prestati ili će — bude li električna napetost dovoljno velika — i dalje postojati, al zbivat će se na mahove, što će nam ih kazivati niz električnih iskara na prekinutu mestu. Kod električnog strujanja prelaze pozitivna i negativna elektriciteta međusobno protivnim smerovima. A gibanje pozitivne električitete zove

*) Drvo je poluvodič pa vodi elektricitetu iako ne baš najbolje.

se posebnim imenom „električna struja“ i smer toga gibanja „smer struje“.

Kod prelaza elektricitete s jednog konduktora električnog stroja (na pr. Wimshurst-ova stroja) na drugi konduktor velika je napetost elektricitete al vrlo su malene električne množine, koje se giblju, t. j. ovakova je struja velike napetosti al vrlo male jakosti. Jakost ili intenziteta struje označuje se slovom J.

Jedinica jakosti jest 1 Ampère. Struja ima toliku jakost onda, kad kroza svaki prorez vodića prolazi u 1 sec 1 Coulomb električne množine.

Dakle: $1\ \text{Amper} = 1\ \frac{\text{Coulomb}}{\text{sec}}$

ili $1\ \text{Coulomb} = 1\ \text{Amper} \cdot 1\ \text{sec} = 1\ \text{Ampersekunda}$.

Sl. 11.

Ova slika prikazuje „Geissler-ovu cev“. Unutra je razređen zrak a ima često i drugih plinova u razređenom stanju. Ako se ova cev namesti izmedu konduktorâ kojeg elektrostatskog stroja, te ovaj radi u tamnu prostoru, ispražnjivanje elektricitete kroz cev bit će popraćeno pojavima osobite svetlosti.

IV. Galvanski elementi (primarni elementi)

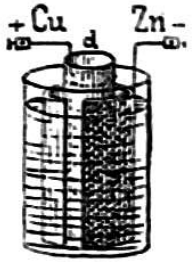
pretvaraju hemijsku energiju u električnu. Oni su hemijski izvori električne struje. Ime „galvanski“ potiče od lečnika Galvani-a, koji je prvi opazio pojav ovakove vrste elektricitete (na žabljim kracima). Fizičar je Volta prvi pak znanstveno rastumačio gde leži začetak ovakove elektricitete, on je uvaďač „elektricitete kontakta“ i obretnik je prvog elementa, što ga mi zovemo „Voltin elemenat“: Posuda s razređenom sumpornom kiselinom (H_2SO_4) i u njoj komad cinka (Zn) i komad bakra (Cu). Kiselina izjeda cinak i tako se stvara bela galica ($ZnSO_4$). A vodik se (H_2) u obliku mehurićâ hvata bakra i to je baš uzrok, zašto ovaj elemenat nakon malo vremena mnogo oslabi. Između cinka i bakra postoji glavna struja, al između vodika i cinka

postoji druga struja protivna smera a zove se „struja polarizacije“. Ova slabi glavnu struju i konačno je potpuno uništava. Nekonstantan se Voltin elemenat upotrebljava tek u fizičkim laboratorijima i to samo primera radi. U takozvanim „konstantnim elementima“ nema — barem za neko vreme — struje polarizacije, jer je u njima pored elektrolita (t. j. rastopine koja vodi struju) takoder i drugih hemijskih sastavina, koje primaju vodik. Ove se sastavine zovu „depolarizatori“ a mogu biti soli, kiseline, oksidi ili pak hiperoksidi.

Konstantni se elementi dele prema hemijskim procesima, koji se u njima odigravaju u ovih 5 sistemâ: Daniell-ov, Leclanché-ov, Grove-ov, Bunsenov i Lalande-Chaperon-ov sistem.

1. Daniell-ov sistem.

Daniell-ov elemenat: $\overset{-}{Zn}, ZnSO_4 \mid \overset{+}{Cu}, CuSO_4$.



Sl. 12.

Cinak ($\overset{-}{Zn}$) stoji u rastopini bele galice ($ZnSO_4$) (ili pak u razredenoj sumpornoj kiselini: 10% H_2SO_4), a u dijafragmi, t. j. šupljikavoj posudi, stoji bakar ($\overset{+}{Cu}$) u koncentriranoj rastopini modre galice ($CuSO_4$). Cinak je ovde a i kod svih drugih elemenata, gde ga ima, negativan pol. Kad je zatvoren krug, kad naime teče električna struja, u elementu se odigrava u glavnom ovaj hemijski proces:

$$Zn + CuSO_4 = ZnSO_4 + Cu,$$

t. j. modra se galica $CuSO_4$ rastvara na bakar Cu i sulfat SO_4. Cu se izlučuje na bakrenu ploču (i ova postaje sve deblja), a SO_4 ide na cinak Zn i troši ga tako da nastaje bela galica $ZnSO_4$.

Elektromotorna napetost, unutarnji otpor

$$e = 1{,}1\ \text{Volta}, \quad r_i = 2\text{—}3\ \text{Ohma}^*).$$

*) Unutarnji je otpor tim manji, čim je elemenat veći (tačnije: čim su veće plohe elektrodâ), no ovde se podrazumevaju tipovi srednje veličine.

Ovaj je elemenat vrlo konstantan, no radi relativno velikog unutarnjeg otpora ne upotrebljava ga se onde, gde se hoće jača struja, nego samo onde, gde ima da bude dugo vremena konstantna slaba struja, na pr. u telegrafiji a pokašto i u galvanostegiji ili galvanoplastici.

Meidinger-ov elemenat: $\overline{Zn}$, $MgSO_4$; $\overset{+}{Cu}$, $CuSO_4$.

Sl. 13.

Na dnu staklene posude manja je posuda i u njoj koncentrirana rastopina modre galice ($CuSO_4$), pa u toj galici bakar ($\overset{+}{Cu}$), odakle ide vanka izolirana bakrena žica. U većoj je posudi rastopina gorke soli ($MgSO_4$) i u njoj ploča od cinka ($\overline{Zn}$). Buduć se laglja gorka sol ne meša s težom, donjom, modrom galicom, ne treba ovde dijafragme. Da se pak ne mora svako malo vremena u donju posudu bacati modre galice — koja se troši —, postavljen je odozgô stakleni balon pun komadića modre galice tako da donjim otvorom ulazi u donju posudu i podržava u njoj modru galicu koncentriranu dugo vremena (na pr. pô godine). U njemu se odigrava isti hemijski proces kao i u Daniell-ovu elementu. e = 1 Volt, r_i = 5—10 Ohma.

Ovaj se elemenat upotrebljava u telegrafiji još zgodnije od Daniell-ova elementa.

Callaud-ov elemenat: $\overline{Zn}$, $ZnSO_4$; $\overset{+}{Cu}$, $CuSO_4$.

Sl. 14.

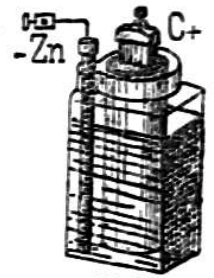
To je zapravo Daniell-ov elemenat bez dijafragme, pa se u njemu zbiva i isti hemijski proces.

e = 1 Volt, r_i = 1—5 Ohma.

Zgodna je i preinaka ovog elemenata. Mesto donje bakrene ploče postavi se olovna ploča, od koje ide sve do gore olovna spirala — koja uostalom može da bude i sama bez ploče —, a mesto bele galice može da bude gorka sô. Oko olova hvata se bakar dok se cinak troši. Ovaj elemenat ima suštinu Daniell-ova i Meidinger-ova, a oblik Callaud-ova elementa. e = 1 Volt, r_i = 1—3 Ohma.

2. Leclanché-ov sistem.

Leclanché-ov elemenat: $\overline{Zn}$, NH_4Cl | $\overset{+}{C}$, MnO_2.



Sl. 15.

Štapić od cinka ($\overline{Zn}$) stoji u koncentriranoj rastopini salmijaka (NH_4Cl). U dijafragmi je surac, t. j. manganski hiperoksid (MnO_2) ispremešan s komadićima uglena ili grafita ili obojega i u to je utaknuta elektroda od uglena ($\overset{+}{C}$) (40 uteznih delova surca, 60 u. d. uglena od retorte, ponajčešće ispremešana z grafitom).

Odigrava se ovaj hemijski proces:

$$2\,NH_4Cl + Zn + MnO_2 = 2\,NH_3 + ZnCl_2 + MnO + H_2O$$

e = 1,5 Volta, r_i = oko 5 Ohma.

Kod neprekidnog dužeg strujanja povećava mu se unutarnji otpor (pa se tim umanjuje jakost struje) i sem toga snizuje mu se elektromotorna napetost; nego kad malo otpočine, povrate mu se i otpor i napetost do prvašnje vrednosti. Zato se ovaj elemenat upotrebljava najrađe za električna zvonca, gde je potrebita električna struja svaki put samo za kratko vreme. Za istu je svrhu ovaj elemenat i najzgodniji, jer mu tek iza nekoliko meseci treba menjati salmijak a dijafragmu sa surcem i uglenom tek nakon jedne ili više godinâ. Pri menjanju salmijaka valja istodobno očistiti i cinak.

U nastojanju, da se što više umanji unutarnji otpor Leclanché-ova elementa, stvoreni su novi tipovi:

Sl. 16.

Elemenat s tobôcem. Tu je mesto štapića od cinka ploča od cinka a mesto dijafragme tobolac obavijen oko štapa od uglena. U staklenoj je posudi rastopina salmijaka, a u tobôcu je testo napravljeno od surca, uglena grafita i lepila. Ovakav je elemenat doista jači od Leclanché-ova elementa pa se zato upotrebljava i za malu rasvetu, osobito ako je ova potrebita svaki put za ne dugo vreme.

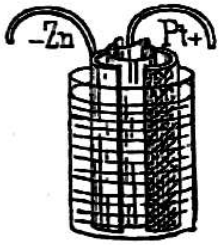
e = 1,5 V, r_i = 0,25 Ω.

Sl. 17.

Drugi je tip još prostiji:

Obični elemenat sa surcem: Ploča od uglena i malo kraća ploča od cinka. U staklenoj posudi ima rastopina salmijaka a na dnu ima surca, uglena i grafita.

3. Grove-ov sistem.



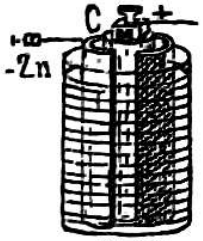
Sl. 18.

Grove-ov elemenat: $\overset{-}{Zn}, H_2SO_4 \mid \overset{+}{Pt}, HNO_3$ t. j. ploča od cinka u razređenoj sumpornoj kiselini (10% H_2SO_4) a u dijafragmi pločica od platine u koncentriranoj dušičnoj kiselini. Hemijski proces uglavnom:

$$Zn + H_2SO_4 + 2\,HNO_3 = ZnSO_4 + 2\,H_2O + N_2O_4$$

$$e = 1{,}9\,V,\ r_i = 0{,}1 - 0{,}2\,\Omega.$$

Grove-Bunsen-ov elemenat: $\overset{-}{Zn}, H_2SO_4 \mid \overset{+}{C}, HNO_3$ t. j. isti kao Grove-ov, samo što je skupa platina zamenjena jeftinim uglenom. Hemijski je proces isti kao i kod Grove-ova elementa



Sl. 19.

$$e = 1{,}9\,V,\ r_i = 0{,}1 - 0{,}2\,\Omega$$

i prema tome ovaj elemenat može da daje dosta jaku struju pa se i upotrebljava u takove svrhe (za brzo nabijanje malih akumulatora, za malu rasvetu, za fizičke eksperimente, kad je potrebita struja od par Amperâ i. t. d.). No buduć je isparivanje dušične kiseline škodno, ne može ga se upotrebiti u zatvorenim sobama.

Da tom nedostatku doskoči, Bunsen je zamenio dušičnu kiselinu hromnom kiselinom i time podao novi sistem:

4. Bunsen-ov sistem.

Bunsen-ov elemenat: $\overset{-}{Zn}, H_2SO_4 \mid \overset{+}{C}, K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$, t. j. cinak u razređenoj sumpornoj kiselini (oko 10% H_2SO_4), a u dijafragmi uglen u hromnoj kiselini (zapravo u smesi

kalijskog bihromata 12 uteznih delova, vode 100 u. d. i sumporne kiseline 25 u. d.).

Hemijski proces:

$$3\,Zn + K_2Cr_2O_7 + 6\,H_2SO_4 = 3\,ZnSO_4 + Cr_2S_2O_9 + K_2SO_4 + 6\,H_2O,$$

al može da bude i drukčiji; sve zavisi o koncentraciji elektrolitâ.

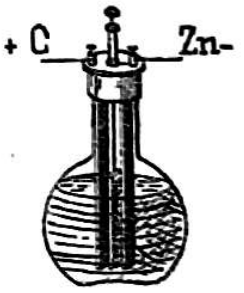
Sl. 20.

$$e = 2\,V,\ r_i = 0{,}1 - 0{,}2\,\Omega.$$

Ovaj elemenat daje nesumnjivo jaku struju al ne za dugo vreme.

Zgodno je mesto sumporne kiseline metnuti koncentriranu rastopinu salmijaka (NH_4Cl) u staklenu posudu, jer salmijak malo troši ploču od cinka, kad elemenat ne radi. Pri tom je dobro upotrebiti deblju dijafragmu, e da difuzija tekućinâ što kašnje nastupi. Može se upotrebiti i dijafragma od uglena, koja onda služi istodobno kao pozitivna elektroda.

Grenet-ov elemenat: $\overset{-}{Zn}, K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4, \overset{+}{C}$, t. j. Bunsen-ov elemenat bez dijafragme. Cinak i uglen stoje zajedno u rastopini kalijskog bihromata, čemu je dodano nešto sumporne kiseline (isti prvašnji omer). Cinak se može dići izvan tekućine da ga kiselina uzalud ne izjeda, dok elemenat ne radi.

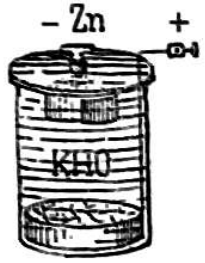


Sl. 21.

$$e = 2\,V,\ r_i = 0{,}05 - 0{,}1\,\Omega,$$

i zato ovaj elemenat daje dosta jaku struju al i on samo za kratko vreme. Upotrebljava ga se rado u fizičkim laboratorijima, gde se drže i baterije sa više elemenata iste vrste.

5. Lalande-Chaperon-ov sistem.



Sl. 22.

Lalande-Chaperon-ov elemenat:

$$\overset{-}{Zn}, KOH; \overset{+}{Cu}\ (\text{ili } Fe), CuO,$$

t. j. ploča od cinka (u gornjem delu posude) u kalijskoj lužini, a na dnu posude ploča od bakra (ili železa) i sloj bakrena oksida.

Hemijski proces:

$$Zn + 2\,KOH + CuO = K_2ZnO_2 + H_2O + Cu$$

$e = 1$ V, r_i = vrlo promenljiv.

Elemenat „Cupron“ zgodna je preinaka predašnjeg elementa. Tri ploče, dve (sa strane) od cinka (Zn) a jedna (u sredini) od bakra (Cu) z bakrenim oksidom (CuO) — koji nije samo na vanjskoj površini ploče nego i prodire duboko unutra —, stoje vertikalno u natrijskoj lužini (NaOH). Ploče od cinka izvana su međusobno spojene i tvore negativan pol.

Sl. 23.

Hemijski proces:

$$Zn + 2\,NaOH + CuO = Na_2ZnO_2 + H_2O + Cu$$

$e = 0{,}8$ Volta, $r_i = 0{,}0075 - 0{,}06$ Ohma.

Unutarnji je otpor vrlo malen tako da ovakovi elementi daju dosta jaku struju.

Kad se elementu snaga iscrpi (prema veličini iznosi ta snaga od 40 do 300 Watt-sati*) izvade mu se ploče, izlože se suncu ili se drže u toplu prostoru neko vreme i to je dovoljna manipulacija, da bakrena ploča dobije potrebiti bakreni oksid. Kad se još promeni nova natrijska lužina, elemenat poprimi opet svoju prvašnju snagu. Dugo pak vremena proće, dok se ploče od cinka toliko istroše, da ih valja novima izmeniti. Ovakav se elemenat može zgodno upotrebiti u svim onim slučajevima, gde valja da bude za duže vremena neprekidno konstantna i jača struja na pr. za malu rasvetu, za galvanoplastiku i galvanostegiju, za nabijanje malih akumulatora, za teranje malih elektromotorâ i t. d. pa napokon za sve eksperimente u fizičkim laboratorijima, kao sveć spreman izvor električne struje konstantne napetosti i jakosti.

Natrijsku lužinu, takozvani „jetki natron“ ne valja hvatati rukama, jer izjeda kožu.

*) Vidi potanje II. svezak IV. poglavlje.

Na koncu valja spomenuti i

„suhe elemente“.

To su zapravo vlažni elementi s elektrodama od uglena (C) i cinka (Zn) a elektrolit je u glavnom salmijak. Kao depolarizator služi ponajviše manganov hiperoksid (MnO_2) ili železni oksid zajedno s raznim drugim primesama. Unutra ima i drvene pilotine, koja upija vodu.

Sl. 24.

No u raznim suhim elementima ima i mnogo toga, što svaka tvornica smatra vlastitom tajnom. Elektromotorna je napetost $e = 1{,}45$ Volta, a unutarnji otpor r_i prilično malen kao i kod elemenata s tobôcem. Ovi su elementi zgodni za prenos, a rabe se u iste svrhe kao i elementi Leclanché-ova sistema. Baterija za džepne lampe sastoji se ponajčešće od 3 mala suha elementa, a onda je elektromotorna napetost cele baterije $E = 3\,e = 3 \cdot 1{,}45$ V $= 4{,}35$ Voltâ.

V. Akumulatori (ili sekundarni elementi)

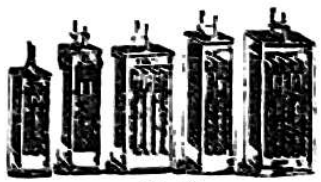
za razliku od već navedenih primarnih elemenata daju vrlo konstantnu struju, al valja ih nabijati svaki put nakon što im se snaga iscrpi. Nabija ih se lako i jeftino, kad ima u mestu priklop na jaku istosmernu struju, al u slučaju potrebe oni se dadu nabiti i prostom baterijom primarnih elemenata.

Dve su vrste akumulatora:

„obični olovni akumulatori“ i „Edisonovi akumulatori“.

1. Olovni akumulatori.

Obretnik prvog olovnog akumulatora jest Gaston Planté (god. 1860), al njegov način priugotavljanja, t. zv. formiranja pločâ, vrlo je dug, pa je tom nedostatku doskočio Faure tako, da je mesto običnih olovnih ploča uzeo testo sastavljeno od olovnog oksida (PbO) ili minija (PbO_3)


Sl. 25.

i sumporne kiseline (H_2SO_4). Ovo se testo smeštava u posebne udubine olovnih ploča ili u otvore zgodno udešenih rešetaka. Tako ispunjene ploče odnosno rešetke stoje u razređenoj sumpornoj kiselini. Dok je akumulator u nenabitu stanju, na obim su elektrodama u glavnom olovni sulfati pa se kod nabijanja odigrava ovaj hemijski proces:

$$2\,PbSO_4 + 2\,H_2O = PbO_2 + Pb + 2\,H_2SO_4,$$

t. j. na jednoj se ploči sakuplja što više olovnog hiperoksida (PbO_2) i na njoj je + pol, a na drugoj ploči ostaje što više čistog olova (Pb) i tu je — pol; pri tom se dobija nova količina sumporne kiseline, dakle: pri nabijanju akumulatora sumporna mu se kiselina koncentrira.

Kod ispražnjivanja zbiva se protivan proces a kazuje ga ista gornja jednadžba čitana z desna na levo, naime: obe ploče dobivaju svoje prvobitne olovne sulfate ($PbSO_4$) a sumporna se kiselina razređuje.

Elektromotorna napetost svakog olovnog akumulatora: $e = 2$ Volta.

Unutarnji otpor $r_i = 0{,}02\ \Omega$ (za srednje tipove).

Usput budi spomenuto, da sumporna kiselina, dok je akumulator u nenabitu (ispražnjenu) stanju, ima gustoću 1,15, pa mu ova naraste na koncu nabijanja do vrednosti 1,18 ili 1,2*). To odgovara ovim Bauméovim stupnjevima: 21°—25°.

2. Edisonovi akumulatori.

Tu su elektrode: nikalj (Ni) i železo (Fe).

Posuda je međutim od železa i ona služi istodobno kao elektroda. Elektrolit je kalijska lužina (KOH). Hemijski je proces:

$$Fe + 2\,Ni(OH)_3 = Fe(OH)_2 + 2\,Ni(OH)_2.$$

Elektromotorna napetost: $e = 1{,}325$ Volta, a unutarnji je otpor malen kao i u olovnih akumulatora.

Prednosti: 1. Težina im je manja od olovnih akumulatora (i treba da služe za vozila: električne automobile, električne motore i sl.).

*) Destilirana voda pri 4° C ima gustoću 1.

2. Smeju se ispražnjivati sve do kraja i nema straha da će se drmanjem lako pokvariti*).

Mane: 1. Imadu manju elektromotornu napetost negoli olovni akumulatori (pa buduć je onda potrebita razmerno veća baterija ovakovih akumulatora, to je prednost njihove manje težine tek delomična).

2. Nije im elektromotorna napetost tako konstantna kao kod olovnih akumulatora.

VI. Spajanje elemenata.

Spajanje u seriju, t. j. spajanje pozitivnog pola jednog elementa s negativnim polom drugoga i t. d. daje bateriju, kojoj je elektromotorna napetost jednaka zbroju elektromotornih napetostî pojedinih elemenatâ:

$$E = e_1 + e_2 + \ldots + e_n$$

a specijalno za n elemenatâ jednake elektromotorne napetosti e

$$E = n\,e.$$

Na pr. 6 Grove-Bunsen-ovih elemenata spojenih u seriju imadu $E = 6 \cdot 1{,}9$ Volta $= 11{,}4$ Volta
ili 2 Leclanché-ova u seriji imadu $E = 2 \cdot 1{,}5\ V = 3\ V$
ili 8 Cupron-elemenata u seriji imadu $E = 8 \cdot 0{,}8\ V = 6{,}4\ V$
ili 3 akumulatorske stanice i dva Cupron-elementa, sve sklopljeno u seriju daju

$$E = (3 \cdot 2 + 2 \cdot 0{,}8)\ V = 7{,}6\ V.$$

Paralelno spajanje, t. j. međusobno spajanje svih pozitivnih i napose svih negativnih polova, daje bateriju koja predstavlja jedan veliki elemenat. Elektromotorna napetost baterije od n paralelno sklopljenih i međusobno jednakih elemenata ista je kao i jednog elemenata, al unutarnji joj je otpor n puta manji (t. j. n-ti deo otpora u pojedinom elementu), pa zato ovakova baterija može da daje dosta jaču struju nego li jedan sami elemenat ili pak može davati istu struju al mnogo više vremena.

*) Olovni se akumulatori ne smeju nikada ispražnjivati ispod 1,8 Volta, jer bi se onda pokvarili.

Mešovito spajanje ili spajanje u grupe, t. j. spajanje po nekoliko elemenata paralelno pa onda sve takove grupe u seriju (ili obratno, naime spajanje po nekoliko elemenata u serije pa onda sve takove serije paralelno), daje bateriju nešto povećane elektromotorne napetosti i nešto povećane jakosti.

Kod spajanja u seriju mogu se spajati i različiti elementi (na pr. bateriji akumulatora može se priklopiti par Cupron-elemenata u seriju), dočim kod paralelnog spajanja elementi moraju biti barem jednake elektromotorne napetosti, jer inače postoji negde posebno strujanje između samih pozitivnih kao i samih negativnih polovâ pa to slabi bateriju.

VII. Ohmov zakon:

$$J = \frac{E}{R} \quad \text{ili} \quad E = J\,R,$$

t. j. jakost je struje jednaka kvocijentu elektromotorne napetosti i otpora, ili — što je svejedno — elektromotorna napetost jednaka je umnošku jakosti i otpora.

R znači celokupni otpor:

$$R = R_i + R_e,$$

t. j. otpor, koji se sastoji od unutarnjeg otpora (R_i) elementa ili baterije i od vanjskog otpora (R_e).

Dakle Ohmov zakon može da glasi i ovako:

$$E = J\,(R_i + R_e).$$

Unutarnji otpor (r_i) pojedinog elementa zavisi u prvom redu od elektrolita a onda o veličini i međusobnoj daljini elektrodâ (Čim su naime elektrode veće i međusobno bliže i čim je elektrolit bolji vodić struje, tim je unutarnji otpor manji). Unutarnji otpor (R_i) kakve baterije zavisi o otporima r_i pojedinih elemenata al i o načinu njihova spoja (Najveći je otpor kod spajanja u seriju, a najmanji je kod paralelnog spajanja).

Vanjski otpor (R_e) postoji u vanjskom vodiću (ponajviše u žici), kuda teče struja, a pokašto i u izolatoru, na pr. u

zraku na mestu, gde je vodić prekinut; ovakovi su otpori vrlo veliki, ma da je i vrlo kratak put preko izolatora. Tek struje visoke elektromotorne napetosti mogu da svladavaju ovakove otpore i tad je prelaz elektricitete popraćen električnim iskrama a u specijalnim slučajevima i raznim pojavima svetlosti.

Vanjski otpor u žici zavisi o vrsti žice i o njezinim dimenzijama (Čim je žica deblja i kraća, tim je manji njezin otpor).

Jedinica otpora, 1 Ohm (kraće 1 Ω), znači otpor, što ga ima 106,3 cm dug stupac žive s prorezom od 1 mm².

Različite kovine čine uz inače iste okolnosti (t. j. uz iste dimenzije) različite otpore. Za temperaturu od 18° vredi ova tablica:

Srebrna žica od 1 mm² proreza	σ	λ
te 1 m duga ima	0,0163 Ω,	a 61.4 m duga 1 Ω
Bakrena	0,0175 „	„ 57,2 „ „ 1 „
Zlatna	0,0242 „	„ 41,3 „ „ 1 „
Aluminijska	0,0317 „	„ 31,6 „ „ 1 „
Magnezijska	0,0465 „	„ 21,5 „ „ 1 „
Natrijska	0,0553 „	„ 18,4 „ „ 1 „
Cinčana	0,0625 „	„ 16,0 „ „ 1 „
Kadmijska	0,0758 „	„ 13,2 „ „ 1 „
Platinena	0,108 „	„ 9,24 „ „ 1 „
Kositrena	0,113 „	„ 8,82 „ „ 1 „
Železna	0,12 „	„ 8,4 „ „ 1 „
Čelična	0,2 „	„ 5 „ „ 1 „
Olovna	0,207 „	„ 4,84 „ „ 1 „
Antimonska	0,36 „	„ 2,8 „ „ 1 „
Živina nît	0,941 „	„ 1,063 „ 1 „
Bizmutska žica	1,19 „	„ 0,84 „ „ 1 „

Srebro dakle najbolje vodi električnu struju a za njim odmah bakar. Bakar je svakako mnogo jeftiniji od srebra, pa zato se bakrene žice ponajviše upotrebljavaju za vođenje električne struje.

Neke nekovine, koje su vodići električne struje imadu za σ i λ ove vrednosti:

	σ	λ
Uglen iz retorte	—	0,019 m
Uglen za lučno svetlo . . .	—	0,015 — 0,027 m
Grafit	—	0,0013 m
Uglen za Edison-ove žarulje	—	0,02 m
Selen	$2{,}5 \cdot 10^9\ \Omega$	$4{,}10^{10}$ m
Telur	500 „	0,002 m
Sumporna kiselina 30% . .	135000 „	0,000074 m
Cinčani sulfad 25%	208000 „	0,0000048 m

Brojevi za σ i λ tačni su samo sa „hemijski čiste kovine", jer i neznatna primesa koje druge kovine prouzrokuje neke razlike u otporu. Zato su kod „običnih čistih kovina", koje dolaze u trgovini, otpori σ nešto veći, a vodljivosti λ nešto manje nego li u tablici.

Formula za otpor (R) glasi:

$$R = \sigma \frac{l}{q} \quad \text{ili} \quad R = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{l}{q}$$

$$\left(\text{jer je } \sigma = \frac{1}{\lambda}\right).$$

Tu se R i σ izrazuju Ohmima, duljine l i λ metrima, a prorez q četvornim milimetrima.

Tako na pr. 1 km duga bakrena žica od 0,8 mm prečnika u prorezu ima otpor

$$R = 0{,}0175 \frac{1000}{\pi \cdot 0{,}4^2} = \frac{17{,}5}{3{,}14 \cdot 0{,}16} = 34{,}83,$$

t. j. otprilike otpor od 35 Ω.

Zgodno je u praksi upamtiti ovo:

57 m bakrene žice 1 mm² proreza čini otpor od 1 Ω (To se vidi u prvoj tablici za bakrenu žicu pod λ, jer tu stoji $\lambda = 57{,}2$ m hemijski čistog bakra).

VIII. Maksimum strujine jakosti.

Da se dobije što veća jakost struje, valja spajati elemente prema prilikama ovako:

1. U seriju se spaja zadanih n elemenata, kad je vanjski otpor kud i kamo veći od unutarnjeg otpora baterije, jer je onda jakost struje

$$J = \frac{n\,e}{n\,r + R} = n \frac{e}{R} = n\,i,$$

t. j. n puta veća, nego li ju može dati jedan sami elemenat.

Tu je r unutarnji otpor svakog elementa a nr celokupni unutarnji otpor baterije, koji je spram vanjskog otpora R tako malen, da ga se uz R sme zanemariti.

2. Paralelno se spaja n elemenata, kad je vanjski otpor vrlo malen, jer je onda jakost struje

$$J = \frac{e}{\frac{r}{n} + R} = \frac{e}{\frac{r}{n}} = n \frac{e}{r} = n\,i,$$

t. j. opet n puta veća nego li ju može dati jedan sami elemenat uz iste okolnosti.

3. Inače se elementi spajaju u grupe, a računom se dokazuje da ovakova baterija daje najjaču struju onda, kad je grupiranje elemenata tako udešeno, da je unutarnji otpor baterije jednak vanjskom otporu.

Kad je po m jednakih elemenata uzeto u seriju pa n takovih serija paralelno, vredi za jakost J ova formula:

$$J = \frac{m\,e}{\frac{m\,r}{n} + R}.$$

Na temelju zadnjeg poučka, prema kojem mora da je $\frac{m\,r}{n} = R$, deducira se detaljnije formuliran poučak:

$$\frac{m}{n} = \frac{R}{r},$$

t. j. elemente valja tako grupirati, da broj spojenih u seriju prema broju spojenih paralelno stoji u istom omeru kao celokupni vanjski otpor prema unutarnjem otporu pojedinog elementa.

Opaska. Svi ovi poučci vrede dakako za slučaj, kad je zadan vanjski otpor a od baterije samo zadan broj

određenih elemenata. No ako su elektromotorna napetost i unutarnji otpor konstantni (ako je na pr. baterija potpuno zadana), onda je naravski struja najjača, kad je vanjski otpor jednak nuli, naime kod „kratkog spoja", a najslabija je, t. j. nema je, kad je vanjski otpor neizmerno velik, na pr. kad je baterija otvorena.

IX. Elektromotorna napetost E i napetost na stezaljkama E'.

Ove su dve veličine samo onda jednake, kad je vanjski otpor između stezaljki neizmerno velik. Tako na pr. otvorena baterija od triju Leclanché-ovih elemenata u seriji ima na krajnjim polovima napetost od 4,5 Volta, naime baš toliku, kolika joj je i elektromotorna napetost.

Zgodno je pamtiti jednadžbu

Elektromotorna napetost = napetosti na stezaljkama otvorene baterije (ili otvorenog elementa.)

Ali kod zatvorene baterije, kojom dakle teče struja, napetost je na stezaljkama uvek manja od elektromotorne napetosti, i to tim manja, čim je vanjski otpor manji. Dok je dakle za određenu bateriju ili inače koji drugi određeni izvor struje elektromotorna napetost konstantna, dotle je napetost na stezaljkama promenljiva, te može da nisko padne, ako je vanjski otpor medu stezaljkama dosta malen. Tako je na pr. napetost na stezaljkama skoro jednaka nuli, kad je vanjski otpor skoro jednak nuli (kratki spoj), a onda je jakost najveća: $J = \frac{E}{R_i}$, al je štetna za sami izvor struje.

Razlika elektromotorne napetosti i napetosti na stezaljkama zove se „gubitak napetosti".

Specijalni oblik Ohmova zakona glasi:

$$E' = J \cdot R_e ,$$

t. j. Napetost na stezaljkama jednaka je umnošku strujine jakosti i vanjskog otpora. Ova se formula može dalje ovako preinačiti:

$$E' = \frac{E}{R_i + R_e} \cdot R_e = \frac{E}{\frac{R_i}{R_e} + 1} ,$$

odakle se razabire, da je napetost na stezaljkama tek deo elektromotorne napetosti i to tim manji deo, čim je veći omer $\frac{R_i}{R_e}$.

Za specijalan slučaj, kad je $R_i = R_e$, izlazi $E' = \frac{E}{2}$, t. j. u takovu je slučaju napetost na stezaljkama baš samo polovina cele elektromotorne napetosti.

Napetost na stezaljkama svladava vanjski otpor, dočim t. zv. gubitak napetosti $(E - E')$ svladava samo unutarnji otpor. Taj gubitak napetosti $E - E'$ nalazi se ovako:

$$E - E' = J(R_i + R_e) - J R_e = J R_i = \frac{E R_i}{R_i + R_e} = \frac{E}{1 + \frac{R_e}{R_i}} .$$

Naposletku budi još spomenuto:

Elektromotorna napetost svladava celokupni otpor (unutarnji i vanjski).

X. Nekoliko zadataka.

1. Kolik mora biti vanjski otpor R_e, e da baterija od 6 elemenata s tobôcem grupiranih po dvoje paralelno pa tri takova para u seriju, dade struju od 0,3 Ampère-a? (Nek je unutarnji otpor svakog elementa $r = 0{,}2\ \Omega$.)

Rešenje:

$$E = J(R_i + R_e)$$

$$4{,}5 = 0{,}3\left(3 \cdot \frac{0{,}2}{2} + R_e\right)$$

$$\frac{4{,}5}{0{,}3} = 3 \cdot 0{,}1 + R_e$$

$$R_e = 15 - 0{,}3 = 14{,}7 .$$

Dakle: Mora biti vanjski otpor od $14{,}7\ \Omega$.

2. Kolik je gubitak napetosti baterije od 2 Leclanché-ova elementa u seriji, ako struja tera električno zvonce od $8\ \Omega$ otpora? (Nek se otpor žicâ provodnicâ od baterije do zvonca zanemare.)

Rešenje: $E = 2e = 2 \cdot 1{,}5\,V = 3\,V$
$R_i = 2r_i = 2 \cdot 5\,\Omega = 10\,\Omega$
$R_e = 8\,\Omega$

$$E - E' = \frac{E}{1+\frac{R_e}{R_i}} = \frac{3}{1+\frac{8}{10}} = \frac{3}{\frac{9}{5}} = \frac{15}{9}.$$

Dakle: $E - E' = 1{,}666\ V.$

Zato će u ovom slučaju napetost na stezaljkama biti samo $E' = 1{,}333$ V.

3. Kolika će biti jakost struje u zadatku pod 2.?

Rešenje: $J = \frac{E'}{R_e} = \frac{1{,}333}{8} = 0{,}166\ldots.$

ili $J = \frac{E - E'}{R_i} = \frac{1{,}666}{10} = 0{,}166\ldots.$

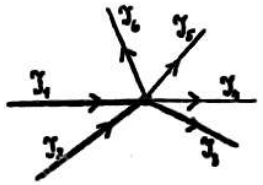
Dakle: $J = 0{,}16\ A.$

XI. Kirchhoff-ovi zakoni

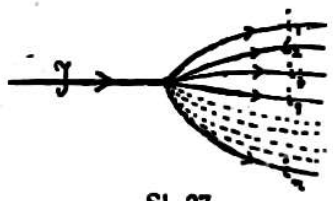
nadopunjuju Ohmov zakon, a dolaze u obzir kod razdvajanja struje na više ogranaka te uopšte kod bilo kakve mreže, u koju može da bude na više mesta uklopljeno raznih elektromotornih napetostî (na pr. nekoliko raznih elemenata ili baterijâ).

Prvi Kirchhoff-ov zakon: $\sum J = O$, t. j. algebarski zbroj strujinih jakosti u vodićima, koji se stiču u istom čvoru, jednak je nuli. (Podrazumeva se, da su jakosti strujâ, koje imadu smer prema čvoru i onih koje imadu smer od čvora, međusobno protivna predznaka.)

Tako je na pr. prema levoj slici
$J_1 + J_2 = J_3 + J_4 + J_5$ ili $J_1 + J_2 - J_3 - J_4 - J_5 = O.$



Sl. 26.



Sl. 27.

Desna slika prikazuje obično razgranjenje struje na više ogranaka. Tu je

$J = i_1 + i_2 + i_3 + \ldots + i_n$ (ili $J - i_1 - i_2 - i_3 - \ldots - i_n = O$). Prvi se Kirchhoff-ov zakon dade drugim rečima ovako izreći: Ista količina struje utiče k čvoru, kolika i ističe od njega.

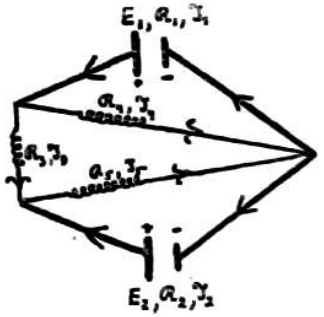
Drugi Kirchhoff-ov zakon: $\sum JR = \sum E$, t. j. u svakoj je zatvorenoj konturi algebarski zbroj umnožaka pojedinih strujinih jakostî i odnosnih otporâ jednak algebarskom zbroju elektromotornih napetostî. (Pri tom se svakoj jakosti struje daje pozitivan predznak kad struja teče smerom, kojim se u misli obilazi konturom, a i elektromotornoj napetosti pozitivân predznak, kad struja na istom mestu, na pr. unutar baterije, teče istim smerom zamišljenog obilaženja.)

Kad specijalno u kojem krugu mreže nema nikakve elektromotorne napetosti, onda vredi formula: $\sum JR = O$.

Ako je mreža zadana tim što su poznate te sve elektromotorne napetosti i svi otpori, može se na temelju dvaju Kirchhoff-ovih zakona postaviti sistem linearnih jednadžbî s nepoznatim strujinim jakostima u pojedinim ograncima tako, da se algebarskim postupkom mogu uvek izračunati sve nepoznate jakosti. Na pr. zadatak, što ga markira slika 28, rešava se tako, da se postavi ovaj sistem jednadžbî:

$$J_1 = J_3 + J_4$$
$$J_2 + J_3 = J_5$$
$$J_1 R_1 + J_4 R_4 = E_1$$
$$J_2 R_2 + J_5 R_5 = E_2$$
$$J_3 R_3 + J_5 R_5 - J_4 R_4 = O,$$

iz kojeg se algebarski izračunajû nepoznanice J_1, J_2, J_3, J_4, J_5.



Sl. 28.

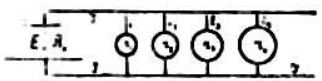
Tu se za neke jakosti struja unapred znade njihov smer (na slici je znak $>$), dočim se za neke druge ne može unapred to znati, nego im se predmneva kojigod smer (na slici je znak $\gtrless$), pa ako pri rešenju za koju nepoznanicu J izađe negativna vrednost, to znači, da onde struja ima protivan smer, nego li se je predmnevalo. Što se pak tiče

zamišljenog obilaženja, e da se izbegnu pomutnje, najzgodnije je početi obilaženje od mesta, gde ima kakva elektromotorna napetost i to smerom kojim bi struja obzirom na samu tu napetost doista išla.

Može se sastaviti i malo drukčiji sistem jednadžbi, samo valja uvek paziti na to, da sve jednadžbe budu međusobno neodvisne, t. j. da se iz dviju jednadžbi ne može deducirati jednadžba, koja je već postavljena u sistem, jer je onda isto kao da nije uzet dovoljan broj jednadžbi (u ovom slučaju 5), pa se ne bi došlo do rešenja.

XII. Malo računanja.

1. Zadana je baterija s elektromotornom napetošću $E = 8\,V$ te unutarnjim otporom $R_i = 0{,}3\,\Omega$ (na pr. 10 Cupronelemenata tipa II. u seriji). Glavne žice vodilice imadu vrlo malen otpor pa ga ni ne zaračunavamo. U glavni tok struje uklopljena su paralelno četiri različita otpora:



Sl. 29.

$$r_1 = 3{,}55\,\Omega,\ r_2 = 35{,}5\,\Omega,\ r_3 = 14{,}2\,\Omega,\ r_4 = 23\tfrac{2}{3}\,\Omega.$$

Kolika je glavna struja J u glavnim žicama i kolike su struje i_1, i_2, i_3, i_4 u pojedinim ograncima?

Opće rešenje:

$$\left.\begin{aligned} E &= J R_i + i_1 r_1 \\ i_1 r_1 - i_2 r_2 &= 0 \\ i_1 r_1 - i_3 r_3 &= 0 \\ i_1 r_1 - i_4 r_4 &= 0 \\ i_1 + i_2 + i_3 + i_4 - J &= 0 \end{aligned}\right\} \text{ t. j. } \left\{\begin{aligned} i_1 r_1 &= E - J R_i \\ i_1 r_1 &= i_2 r_2 \\ i_1 r_1 &= i_3 r_3 \\ i_1 r_1 &= i_4 r_4 \\ i_1 + i_2 + i_3 + i_4 &= J \end{aligned}\right.$$

$$i_2 = \frac{i_1 r_1}{r_2},\ i_3 = \frac{i_1 r_1}{r_3},\ i_4 = \frac{i_1 r_1}{r_4}$$

$$i_1 + \frac{i_1 r_1}{r_2} + \frac{i_1 r_1}{r_3} + \frac{i_1 r_1}{r_4} = J \text{ ili } \frac{i_1 r_1}{r_1} + \frac{i_1 r_1}{r_2} + \frac{i_1 r_1}{r_3} + \frac{i_1 r_1}{r_4} = J$$

$$\text{ili } i_1 r_1 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}\right) = J \text{ ili kraće } i_1 r_1 \sum \frac{1}{r} = J.$$

Kad se pak prva jednadžba sistema pomnoži faktorom $\sum \frac{1}{r}$, dobije se $i_1 r_1 \sum \frac{1}{r} = E \sum \frac{1}{r} - J R_i \sum \frac{1}{r}$,

a onda je $E \sum \frac{1}{r} - J R_i \sum \frac{1}{r} = J$, odakle se dobije:

$$J = \frac{E \sum \frac{1}{r}}{1 + R_i \sum \frac{1}{r}} = \frac{E}{R_i + \frac{1}{\sum \frac{1}{r}}}.$$

Iz zadnje se formule razabire da je $\frac{1}{\sum \frac{1}{r}}$ celokupni vanjski otpor R_e, dakle $R_e = \frac{1}{\sum \frac{1}{r}}$, t. j. $\frac{1}{R_e} = \sum \frac{1}{r}$. Lako je uvideti, da se do iste formule dolazi i u najopćenitijem slučaju, kad je naime paralelno uklopljeno ne samo 4 nego uopće n otporâ: $r_1, r_2, r_3, \ldots r_n$.

Dakle formula:

$$\frac{1}{R_e} = \sum \frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots + \frac{1}{r_n}$$

izriče ovaj poučak: Recipročna vrednost jednog samog otpora, koji nadoknađuje n drugih paralelno uklopljenih otporâ, jednaka je zbroju recipročnih vrednostî svih tih pojedinih otporâ.

Za slučaj da su svi paralelno uklopljeni otpori međusobno jednaki, t. j. $r_1 = r_2 = r_3 = \ldots = r_n = r$, izvodi se $\frac{1}{R_e} = \frac{n}{r}$, dakle $R_e = \frac{r}{n}$, pa isti gornji poučak poprima ovaj specijalniji oblik:

Celokupni je otpor n puta manji, nego li je jedan od pojedinih otporâ.

Kao daljnje rešavanje zadatka izlazi:

$$i_1 = \frac{J}{r_1 \sum \frac{1}{r}} = \frac{E}{r_1\left(1 + R_i \sum \frac{1}{r}\right)},$$

$$i_2 = \frac{i_1 r_1}{r_2} = \frac{J}{r_2 \sum \frac{1}{r}} = \frac{E}{r_2\left(1 + R_i \sum \frac{1}{r}\right)},$$

$$i_3 = \frac{i_1 r_1}{r_3} = \frac{J}{r_3 \sum \frac{1}{r}} = \frac{E}{r_3\left(1 + R_i \sum \frac{1}{r}\right)},$$

$$i_4 = \frac{i_1 r_1}{r_4} = \frac{J}{r_4 \sum \frac{1}{r}} = \frac{E}{r_4\left(1 + R_i \sum \frac{1}{r}\right)}$$

i uopšte $i_k = \frac{J}{r_4 \sum \frac{1}{r}} = \frac{E}{r_k\left(1 + R_i \sum \frac{1}{r}\right)}$.

Kad se najpre izračuna $\sum \frac{1}{r}$, onda je najzgodnije upotrebiti po redu ove formule:

$$J = \frac{E}{R_i + \frac{1}{\sum \frac{1}{r}}}, \quad i_1 = \frac{J}{r_1 \sum \frac{1}{r}}, \quad i_2 = \frac{J}{r_2 \sum \frac{1}{r}}, \quad i_3 = \frac{J}{r_3 \sum \frac{1}{r}},$$

$$i_4 = \frac{J}{r_4 \sum \frac{1}{r}}.$$

Sad se prelazi na specijalno rešenje:

U zadatku je $E = 8\,V$, $R_i = 0{,}3\,\Omega$, $r_1 = 3{,}55\,\Omega$, $r_2 = 35{,}5\,\Omega$, $r_3 = 14{,}2\,\Omega$, $r_4 = 23\frac{2}{3}\,\Omega$.

Dakle $\sum \frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} = \frac{1}{3{,}55} + \frac{1}{35{,}5} + \frac{1}{14{,}2} + \frac{1}{23\frac{2}{3}} = \frac{1}{3{,}55} + \frac{1}{35{,}5} + \frac{1}{14{,}2} + \frac{3}{71} = \frac{20+2+5+3}{71} = \frac{30}{71}$.

$$J = \frac{8}{0{,}3 + \frac{1}{\frac{30}{71}}} = \frac{8}{0{,}3 + \frac{71}{30}} = \frac{8 \cdot 30}{9 + 71} = \frac{8 \cdot 30}{80} = 3\,\text{Ampera}$$

$$i_1 = \frac{3}{3{,}55 \cdot \frac{30}{71}} = \frac{3 \cdot 71}{3{,}55 \cdot 30} = \frac{71}{35{,}5} = 2\,\text{Ampera}$$

$$i_2 = \frac{3}{35{,}5 \cdot \frac{30}{71}} = \frac{3{,}71}{35{,}5 \cdot 30} = \frac{71}{355} = 0{,}2\,\text{Ampera}$$

$$i_3 = \frac{3}{14{,}2 \cdot \frac{30}{71}} = \frac{3.71}{14{,}2 \cdot 30} = \frac{71}{142} = \frac{1}{2} = 0{,}5\,\text{Ampera}$$

$$i_4 = \frac{3}{23\frac{2}{3} \cdot \frac{30}{71}} = \frac{3}{\frac{71}{3} \cdot \frac{30}{71}} = \frac{3}{10} = 0{,}3\,\text{Ampera}.$$

2. Merenje otpora pomoću Whitstone-ova mosta.

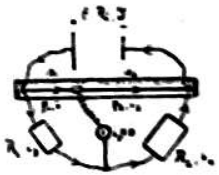
Za $i_5 = o$ mora da je $i_2 = i_1$,
te $i_4 = i_3$,

a onda je

$i_1 \rho_1 - i_3 R_1 = o$, t. j. $i_1 \rho_1 = i_3 R_1$,

te $i_2 \rho_2 - i_3 R_2 = o$, t. j. $i_1 \rho_2 = i_3 R_2$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$



Sl. 30.

Buduć je $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{s_1}{s_2}$*), izlazi $\frac{R_1}{R_2} = \frac{s_1}{s_2}$, t. j. valja pomicati gornji kraj mosta dotle, dok galvanometar ne pokaže da u mostu nema struje ($i_5 = o$), a onda se dva otpora R_1 i R_2 snose u istom omeru kao i odgovarajući im odresci s_1 i s_2 (koji se odmah mogu pročitati na već podmetnutom merilu).

*) s_1 i s_2 znače dužine odnosne žice, a otpori su ϱ_1 i ϱ_2 baš razmerni s tim dužinama.

Kad imamo na raspolaganju poznati otpor R_2, onda ovom metodom izračunavamo

$$R_1 = \frac{s_1}{s_2} R_2 .$$

Primer: Nek je $R_2 = 10\,\Omega$, $s_1 = 32$ cm, $s_2 = 68$ cm.

Tad je $R_1 = \frac{s_1}{s_2} \cdot R_2 = \frac{32}{68} \cdot 10 = \frac{8}{17} \cdot 10 = \frac{80}{17} = 4{,}7$,

dakle $R_1 = 4{,}7\,\Omega$.

2a. Merenje otpora može se izvesti i bez Whitstone-ova mosta upotrebom zgodnih reostata.

U prost tok struje uklope se u seriju galvanometar (ili samo galvanoskop*) i otpor što ga valja izmeriti, pa se upamti položaj, u koji je došlo kazalo galvanometra. Zatim se izvadi taj otpor te se umesto njega uklopi reostat (na pr. onaj s čepovima*) i ovome se otpor dotle menja (povećava ili umanjuje) dokle kazalo galvanometra ne dođe opet u isti prvašnji položaj. Tad je odmah jasno, da je baš ovaj otpor reostata jednak pređašnjem otporu.

Ova je metoda slična u mehanici metodi vaganja nepravom vagom pomoću tariranja, dočim je metoda Whitstone-ova mosta analogna vaganju rimskom vagom.

XIII. Postupanje z galvanskim elementima i akumulatorima.

Kod priugotavljanja galvanskih elemenata valja oprezno postupati osobito sa sumpornom kiselinom. Ova služi za elemente Grove-ova i Bunsen-ova sistema. Kod razređivanja sumporne kiseline valja kiselinu levati u vodu**) (ili u koju već priređenu rastopinu, na pr. u rastopinu kalijskog bihromata) i to kap po kap, valja je u vodi istodobno mešati — najzgodnije staklenim štapićem — i najzad valja paziti, da ne bude prskanja, jer sumporna kiselina izgara kožu, meso, tkaninu, drvo i t. d., pa neoprez može da bude

*) Vidi poglavlje XVIII.

**) A ne obratno!

uzrokom velikih šteta. Kad sumporna kiselina ulazi u vodu, stvara se toplina, tako da staklena posuda nije podesna za razređivanje sumporne kiseline, već treba za to uzeti kakvu emajiranu zemljanu posudu ili posudu od porcelane, koja može da izdrži velike promene temperature.

Kod modre galice valja takođe biti na oprezu, jer je ona nešto malo otrovna.

I salmijak, koji služi za elemente Leclanché-ova sistema, bolje je rastapati u posebnoj zemljanoj posudi, jer salmijak prilično snizuje temperaturu vode, u koju ga se meša, pa radi sniženja temperature može kojiput da popuca staklena posuda.

Grove-ov ili Grove-Bunsen-ov elemenat z dušičnom kiselinom ne valja držati u prostorijama, gde se stanuje, jer se razvijaju po zdravlje vrlo škodni plinovi.

Akumulatore valja nabijati odmah nakon punjenja hemijski čistom sumpornom kiselinom razređenom do oko 22° Bé*), pa dok su u nabitu stanju valja ih češće rabiti. Ako za duže vremena, na pr. za 2 ili 3 meseca nije treba dobijati struje iz akumulatora, najbolje je izliti im sumpornu kiselinu (koja se može pohraniti u bocama), isprati ih destiliranom vodom te suhe ih ostaviti do druge potrebe. Ko se svih ovih uputa tačno ne drži, tome se akumulatori pokvare prê vremena, ne dožive svoj vek. Još su štetnije pogreške, koje se mogu počiniti pri nabijanju i ispražnjivanju. Za nabijanje valja pozitivni pol akumulatora (ili akumulatorske baterije) spojiti s pozitivnim polom struje nabijanja pa isto tako negativni pol s negativnim polom. Zatim valja paziti na jakost struje nabijanja. Ova ne sme da prekorači stanovitu maksimalnu vrednost. Čim su veći akumulatori, tim je veća i takozvana „maksimalna jakost nabijanja“ (računa se $^1/_2$ Ampera na dm^2 pozitivne ploče). Što se pak tiče napetosti struje nabijanja, ova samo ne sme biti odveć malena, jer elektromotorna napetost akumulatora dok se ovaj nabija raste sve to oko 2,7 Volta, pa

*) Bé je kratica mesto Baumé (čitaj Bomé).

kad napetost struje, kojom se nabija jedan akumulator ili jedna baterija paralelno spojenih akumulatora ne bi bila veća od 2,7 Volta, ne bi ni bilo nabijanja. Kad se ima nabiti baterija od n akumulatora u seriji, valja da napetost struje nabijanja nadmaši 2,7n Voltâ, a preko te vrednosti može biti makar koliko veća, samo se moraju u tok struje uvrstiti zgodni otpori, koji će da regulišu jakost struje. Često se nabija istosmernom strujom od 110 ili 220 Volta, a za otpore su zgodne same električne žarulje (Vidi shemu nabijanja kao i potanje o samom nabijanju akumulatora u IIom svesku!).

Amalgamiranje cinka izvodi se ovako: Najprê se cinak dobro izriba i ispere u razređenoj sumpornoj kiselini. Zatim se u jednom tanjuru pripremi malo žive s malo primešane razređene sumporne kiseline, pa se tom smesom natare površina cinka. Al ne smê se to prstima raditi, nego se na pr. uzme drven štapić, omota ga se krpom, postavi se cinak na isti tanjur, pa se tim štapićem umače u živu i tare se cinak. Osobito je potrebito amalgamiranje cinka, kad ovaj stoji u (razr.) sumpornoj kiselini, na pr. kod Grove-ova ili Grove-Bunsenova članka.

XIV. Učinci topline i svetla.

Kad električna struja prolazi kroz kakav vodić, koji joj suprostavlja velik otpor, na pr. kroz vrlo tanku žicu od platine ili koje druge kovine ili kroz tanku nit od uglena, pa ako je dovoljno velika napetost struje, dakle i dovoljna njezina jakost, onda se u takovu vodiću razvija velika toplina, a kad temperatura vodića naraste dosta visoko, vodić se ili rastali ili ražari. Ako se odabere zgodan vodić, može se postići dovoljna toplina bez taljenja i bez žarenja. Ako se pak žarenje hoće upotrebiti za rasvetu, onda okolo tako užarena vodića ne sme biti zraka (zapravo: kisika), jer u tom slučaju nastaje brže ili sporije gorenje samog vodića, ovaj bi izgoreo i struja bi se na istom mestu prekinula.

U prostoru gde nema zraka, žarenje je trajno. Ako se vodić lako tali, onda se struja, koja proće kroz takav vodić dovoljno velikom jakošću, gotovo u tren oka prekine.

Praktične primene ovih učinaka jesu:

1. **Osiguraljka**, koja odmah prekida struju, netom ova prekorači stanovitu maksimalnu jakost (jer se njezina jezgra od kovine, koja se lako tali, kod prejake struje odmah rastali). A gotovo pri svakoj električnoj instalaciji trebaju osiguraljke, jer bi se bez njih u slučaju kratkog spoja pokvarila cela instalacija.

2. **Električna peć**, koja električnu energiju pretvara direktno u energiju topline (kraće: u toplinu).

3. **Električna žarulja**, koja elektricitetu pretvara delomice u svetlo (Velik se deo pretvara i ovde u toplinu).

Prve, takozvane „Edison-ove žarulje“ (koje se i dandanas još rabe, al ne u svrhe rasvete, jer prema potrošku električne snage ne daju mnogo svetla, nego kao zgodni otpori za uklapanje u tok struje) imadu nît od uglena na osobit način prepariranu. Dočim nove žarulje, koje su dva do tri puta ekonomskije obzirom na potrošak struje, imadu tanku žicu od osobitih metalâ, kao osmij, tantal i t. d.

Sl. 31

Sl. 32.

U nutrini električnih žarulja ili nopšte nema ni zraka nit ikakva plina ili samo nema kisika, jer kad bi bilo kisika, onda bi nît izgorela i struja bi se odmah prekinula.

XV. Elektroliza i Faraday-evi zakoni.

Elektroliza znači rastvaranje hemijskih spojeva putem električne struje. Važne su njezine primene u praksi: galvanostegija i galvanoplastika (o čemu je govora u IIom svesku).

Elektroliza vode. U posudi je voda s vrlo malo primešane sumporne kiseline. Odozdo (kroz čep) ulaze, neprodušno dve žice završujuć unutra dvema platinenim pločicama. Te žice dolaze s polovâ male baterije (par elemenata). Nad svakom platinenom pločicom visi po jedna dole otvorena a gore zatvorena cev sasma ispunjena vodom. (Da se to udesi, svaka se cev najprê napuni vodom, začepi joj se otvor na pr. prstom, zatim ju se okrene i s tako zatvorenim krajem utakne u vodu. Kad se sad makne prst, voda u cevi ne pada radi tlaka vanjskog zraka (koji bi u ostalom mogao da drži i 10 m visoko stup vode.) Kad se pusti struja, dižu se iznad platinenih pločica u obliku mehurićâ sastavni delovi vode: vodik (H) i kisik (O). To su plinovi, koji se skupljaju svaki u svojoj cevi, i nalazeć mesta u gornjim delovima potiskuju vodu dole. Pločica, koja je spojena s pozitivnim polom baterije, zove se „anoda" i u cevi nad njom sakuplja se kisik, dočim se vodik smeštava u cevi iznad druge pločice, koja je spojena s negativnim polom baterije, a zove se „katoda". (Reči grčkog porekla: „anoda" i „katoda" znače mesto ulaza i izlaza struje.) U isto se vreme delovanjem električne struje na vodu razvija po obujmu a — prema Avogadrovu zakonu — i po broju molekula dvostruko toliko vodika koliko kisika, naime u istom omeru, u kojem se ova dva počela nalaze u vodi.

Sl. 33.

Vanjština ovog pojava izgleda ovako: Električna struja prolazeći kroz vodu rastvara ju na vodik i kisik a sumporna kiselina kao dobar vodić pomaže elektriciteti prolaz kroz vodu.

A hipoteza, koja ima da prikaže unutarnju bît svih ovakovih procesâ, veli:

U svakoj rastopini prema njezinoj razređenosti postoji od rastopljene tvari neka određena množina molekula, koje su „disocijirane", t. j. razdvojene na delove, takozvane „ione". Ioni iste molekule imadu protivne al po veličini jednake električne naboje. Ovi se naboji međusobno ukidaju, dok

se dva protivna iona nalaze ujedno tvoreći molekulu, al njihova elektriciteta postaje delatna, kad su razdvojeni. Ioni s pozitivnim nabojem zovu se „Kationi" jer njih privlači katoda, koju zamišljamo kao negativno nabijen konduktor, dočim se ioni s negativnim nabojem zovu „Anioni", jer oni srću k anodi, kao pozitivnom konduktoru.

Kod elektrolize vode, gde ima razređene sumporne kiseline H_2SO_4, ima mnogo molekula, koje su disocijirane u ione: $+H_2$ i $-SO_4 \cdot +H_2$ ide k negativnoj katodi, preda joj svoj naboj i diže se gore. $-SO_4$ združi se s vodikom ($+H_2$) najbliže molekule vode (H_2O), te stvori iznova molekulu sumporne kiseline (H_2SO_4), no kisik ($-O$) koji je preostao od one molekule vode privlači anoda, pa kad mu ova oduzme naboj, diže se i on gore. Iz baterije stizavaju novi električni naboji na elektrode aparata (na anodu i katodu) te nadoknađuju onu elektricitetu, koja se troši ukidanjem elektricitete iona, tako da anoda neprestano privlači $-O$, a katoda $+H_2$, dok se medutim pri rastvorbi svake vodene molekule stvara opet po jedna molekula sumporne kiseline. Tako se sumporna kiselina samo na jednom mestu rastvara da se na drugom mestu opet stvori, dočim se plinovi H_2 i O razvijaju na štetu količine vode, jer netom se stvore dve molekule vodika i jedna kisika, nestadoše 2 molekule vode.

Isto se tako elektrolitskim procesom vadi kovina iz kakve soli. Kao vodik tako se i kovina uvek izlučuje na katodu.

Prvi Faraday-ev zakon: Množina izlučenih ionâ upravno je razmerna s jakošću struje.

Na pr. ako je struja od 1 Ampera izlučila u neko vreme m grama srebra (ili v cm^3 vodika), onda će u isto toliko vremena dvaput jača struja, naime struja od 2 Ampera, izlučiti 2 m grama srebra (odn. 2 v cm^3 vodika).

Drugi Faraday-ev zakon: Ista struja izlučuje ekvivalentne množine ionâ.

Na pr. ako u isti krug struje uklopimo u seriju aparat za elektrolizu vode te aparate za elektrolitsko lučenje bakra

i srebra, očito je, da kroz sva tri aparata prolazi struja iste jakosti, pa ako ta struja na pr. u pô sata izluči 1 mg vodika (H) na aparatu za elektrolizu vode, ona izluči u to isto vreme $\frac{63}{2}$ mg bakra (Cu) u drugom a 107 mg srebra (Ag) u trećem aparatu.

Naravno je, da se u drugom i trećem aparatu istodobno razvija također po 1 mg vodika, al ovaj se spaja, s drugim ionima, koji pritom nastaju. Na pr. ako se bakar dobiva iz modre galice $CuSO_4$, onda se $+Cu$ izlučuje na katodu a $-SO_4$ sili bližnju molekulu vode na rastvorbu. Tad se eto od molekule vode H_2O luči $+H_2$ e da se odmah spoji s $-SO_4$ u molekulu sumporne kiseline H_2SO_4. Preostali kisik $-O$ ide k anodi i tu se luči kao kisik O tako, da na svaki Cu ili svaki H_2 dolazi izlučen O. Budući su atomske težine:

za H 1
za Cu 63
za Ag 107
za O 16

i jer se za vreme izlučenja jednog atoma Cu razvijaju istodobno dva atoma H, dva atoma Ag i jedan atom O, zato je odmah razumljivo, da ista struja izlučuje

2 gr H, 63 gr Cu, 214 gr Ag i 16 gr O

ili 1 gr H, $\frac{63}{2}$ gr Cu, 107 gr Ag i 8 gr O,

da su dakle izlučene množine ekvivalentne.

Ako na aparatu za elektrolizu vode mesto dviju cevi postavimo jednu širu i mensuriranu cev iznad obiju platinenih pločica, eto nam takozvanog „Voltametra s praskavcem".

Praskavac je smesa vodika s kisikom u istom omeru kao i u vodi. Dok je naime voda hemijski spoj vodika s kisikom (H_2O), dotle je praskavac samo njihova fizična smesa ($H_2 + O$). Voltametar s praskavcem služi za merenje jakosti struje. Dosta je držati na umu, da struja od 1 Ampera u 1 minuti razvija 10,44 cm³ praskavca.

Zadatak. Kolika je jakost struje, ako je u 10 minuta na priključenom voltametru razvito 64 cm³ praskavca?

Rešenje: U 1 bi minuti ova struja razvila 6,4 cm³ praskavca. Dakle:

1 Amper razvija u 1 min 10,44 cm³ praskavca
x Ampera razvija u 1 min 6,4 cm³ praskavca

$$x : 1 = 6{,}4 : 10{,}44$$

$$x = \frac{6{,}4}{10{,}44} = \frac{1{,}6}{2{,}61} = \frac{160}{261} = 0{,}613, \text{ t. j.}$$

jakost je struje = 0,613 Ampera.

Ima i drugih voltametara, tako voltametar z bakrom i voltametar sa srebrom.

Zadatak. Nek se iz gornjeg podatka o voltametru s praskavcem izračuna, koliko bakra i koliko srebra izluči struja od 1 Ampera u 1 minuti!

Rešenje: 1 A u 1 min razvije 10,44 cm³ praskavca ($H_2 + O$).

Dakle: 1 A u 1 min razvije $\frac{2}{3} \cdot 10{,}44$ cm³ vodika = 6,96 cm³ vodika (H). Budući je vodik 14,5 puta laglji od zraka, a 1 cm³ zraka teži 0,001293 gr, to 1 cm³ vodika teži $\frac{0{,}001293}{14{,}5}$ gr, a 6,96 cm³ vodika teži onda $6{,}96 \cdot \frac{0{,}001293}{14{,}5}$ gr = 0,00062064 gr.

Dakle:

1 A izluči u 1 min 0,00062064 gr vodika
1 A izluči u 1 min x gr bakra

Otale $x : 0{,}00062064 = \frac{63}{2} : 1$

te $x = \frac{0{,}00062064 \cdot 63}{2} = 0{,}0195$, t. j.

Struja od 1 Ampera izluči u 1 minuti 0,01954 gr bakra (Cu).

1 A izluči u 1 min 0,00062064 gr vodika
1 A izluči u 1 min y gr srebra

Otale $y : 0{,}00062064 = 108 : 1$

te $y = 0{,}00062064 \cdot 108 = 0{,}067$, t. j.

Struja od 1 Ampera izluči u 1 minuti 0,067 gr srebra (Ag).

XVI. Upliv struje na magnet i Ampère-ovo pravilo.

Električna struja stvara oko sebe magnetsko polje, čije silnice u obliku koncentričnih kružnica obuhvataju tok struje, t. j. žicu, kojom struja teče, a smer je silnica, kad se gleda smerom struje, baš jednak smeru gibanja kazala na uri.

Sl. 34.

Sl. 35.

Zato se magnetska igla u blizini žice, kojom teče struja, otklanja prema Ampère-ovu pravilu:

Sl. 36.

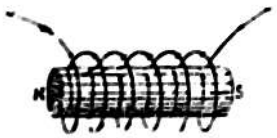
Ampère-ovo pravilo desne ruke: Desna se ruka ispruži (ili se samo tako zamisli) u smer struje a dlanom naprama magnetskoj igli. Tad palac kaže, kamo će severni pol magnetske igle.

Sl. 37.

Ampère-ovo pravilo plivača: Zamisli se, da plivač pliva smerom struje i da je okrenut prema magnetskoj igli. Tad njegova leva ruka kaže, kamo će severni pol magnetske igle.

XVII. Solenoid i elektromagnet.

Solenoid je svitak žice u obliku valjkaste spirale. Dok njim prolazi struja, dotle on pokazuje svojstva magneta, dotle postoji magnetsko polje, koje se može pojačati tim što se u njegovu nutrinu utakne železo (jer su onda magnetske silnice kud i kamo gušće).



Sl. 38.

Solenoid s jezgrom od meka železa zove se „elektromagnet“.

Ako se u solenoid utakne čelik pa pusti neko vreme električna struja, čelik se magnetizira tako, da ostane trajan magnet. Dočim solenoid s jezgrom od meka železa, naime elektromagnet, izgubi svoj magnetizam, netom prestane strujanje, tek mu ostaje vrlo neznatna magnetska količina, takozvani „remanentni magnetizam“ ili „magnetski residuum“.

Umetni se magneti dandanas prave gotovo isključivo tako da se komadi čelika stavljaju u određene solenoide i onda se pusti preko solenoida neko vreme ojača struja. Tim se kratkim postupkom dobiju jaki i trajni magneti.

Elektromagnet igra važnu ulogu kod Morse-ova*) brzojava, električnog zvonca i sl. te napokon kod dinamostrojeva.

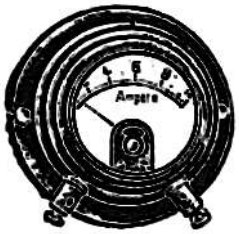
Solenoid je specijalno vrlo važan za indukciju struje.

XVIII. Galvanometri (Ampermetri, Voltmetri).

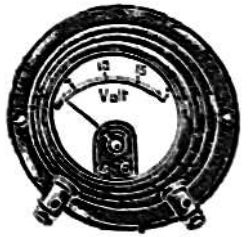
Galvanometri su sprave za merenje jakosti ili napetosti električne struje, pa su im zato i posebna imena:

„Ampermetar“ (t. j. merilo jakosti struje).

„Voltmetar“ (t. j. merilo napetosti struje).



Sl. 39. Ampermetar.



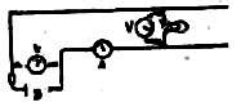
Sl. 40. Voltmetar.

Sl. 41. Džepni voltmetar.

Sl. 42. Džepni kombinovani Voltmetar i Ampermetar.

*) Čitaj: „Môrzova“!

Ampermetri se uklapaju direktno u tok struje, dočim se voltmetri uklapaju kao nuz-ogranak (na pr. između dviju stezaljkî kojeg aparata), kako to prikazuje ova slika:



Sl. 43.

Galvanoskopi su sprave slične galvanometrima, al nemaju nikakve skale, te služe samo za konstatovanje, da li nekud struja teče i eventualno još, kojim smerom teče.

Svi se ovi aparati osnivaju na pojavima elektromagnetizma ili na pojavu rastezanja usled topline, što ju električna struja može dati.

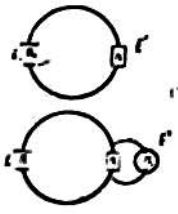
Ampermetri imadu vrlo malen a voltmetri vrlo velik otpor. I voltmetar meri zapravo jakost struje, koja njim prolazi, no budući je

$$E' = R_e \cdot J,$$

t. j. napetost na stezaljkama upravno razmerna s jakošću struje, zato je skala voltmetra direktno izražena voltima.

Pošto je otpor voltmetra vrlo velik, to je gubitak napetosti, koji nastaje priklapanjem voltmetra tako neznatan, da ga se sme potpuno zanemariti; drugim rečima: Priklapanjem voltmetra ne umanjuje se ništa prvobitna napetost među stezaljkama.

Nek nas ovaj opšti primer matematički ubedi:



Sl. 44.

Prva slika predočuje izvor struje s elektromotornom napetošću E i unutarnjim otporom R_i onda dve žiće provodnice (čiji se mali otpor ne uzima u račun ili se uračunava u R_i), i uklopljeni vanjski otpor r. Druga pak slika prikazuje isto kao i prva, samo što je suviše priklopljen voltmetar s otporom r_1.

Koja je razlika između E′ i E″, t. j. između napetosti na stezaljkama zadanog otpora r kad nema voltmetra i one kad je među iste stezaljke uklopljen voltmetar s otporom r_1?

Lak račun dovodi do ovog rešenja:

$$E' - E'' = \frac{E}{1+\frac{R_i}{r}} - \frac{E}{1+\frac{R_i}{r}+\frac{R_i}{r_1}} = E\left(\frac{1}{1+\frac{R_i}{r}} - \frac{1}{1+\frac{R_i}{r}+\frac{R_i}{r_1}}\right).$$

Pošto je otpor voltmetra r_1 kudikamo veći od unutarnjeg otpora R_i, to se česnik $\frac{R_i}{r_1}$ sme anulirati, pa se dobije:

$$E' - E'' = \frac{E}{1+\frac{R_i}{r}} - \frac{E}{1+\frac{R_i}{r}} = 0, \text{ a otale } E'' = E'.$$

XIX. Tangentna busola.

Svi se galvanometri moraju izbaždariti, t. j. mora im se odrediti skala. U tu je svrhu zgodna „tangentna busola". To je magnetska igla u sredini kola, koje je sastavljeno od više žica ili od jednog zavinutog traka kovine, al krajevi se međusobno ne dotiču nego vode do stezaljaka, koje su na dnu stalka. Magnetska igla i ravnina kola stoje u magnetskom meridijanu. Tad se pusti preko stezaljaka struja, kojoj ćemo da ispitamo jakost. Igla se otkloni od magnetskog meridijana i ostane tako otklonjena za kut φ. Čim je taj kut veći, tim je i jakost struje veća, a tačan odnošaj kaže formula:

Sl. 45.

$$i = C \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

gde je C konstanta aparata a zove se „redukcioni faktor". Taj se faktor dade ili izračunati na temelju podataka o zemaljskom magnetizmu ili se pak dade pronaći eksperimentom pomoću elektrolitskih sprava, na pr. pomoću voltametra s praskavcem.

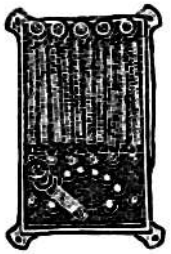
Kad se dakle iznađe redukcioni faktor stanovite tangentne busole, onda se po njoj lako može izbaždariti svaki galvanometar (Ampermetar, Voltmetar).

XX. Reostati

su otpori, koji se uklapaju u tok struje, pa se tako umanjuje jakost struje. Takovi se otpori mogu odmeriti na manji ili veći broj Ohma pa se zato zovu i regulatori, jer regulišu struju na manji ili veći broj Amperâ.

Reostat sa zavorom:

1. u obliku ploče, 2. u obliku kruga, 3. u obliku valjka.

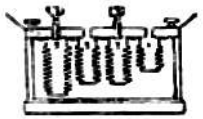


Sl. 46.

Sl. 47.

Sl. 48.

Reostat s čepovima:



Sl. 49.

Ovde je uklopljen samo otpor 1 Ω i 2 Ω dočim struja ne prolazi kroz otpor od 5 Ω ni kroz onaj drugi od 2 Ω, jer ima kraći put na gornjoj metalnoj ploči preko utaknutih metalnih čepova.

Žice reostata, premda nisu ni preduge ni pretanke, suprostavljaju struji velik otpor, jer su načinjene od posebnih kovinskih smesâ kao što su: manganin, nikelin i t. d.

XXI. Indukcija i vlastita indukcija.

Ako se žica nalazi u kojem promenjivom magnetskom polju, bude se u njoj pri svakoj promeni polja elektromotorne napetosti, pa ako je žica zatvorena u zgodan krug, nastaju u njoj trenutačne struje, koje se zovu „inducirane struje“. Ove se struje bude dakle pri svakom nastajanju ili pojačanju te pri svakom slabljenju ili nestajanju magnetskog polja. Struje, koje se induciraju pri nastajanju ili pojačanju magnetskog polja, imaju protivan smer od onih,

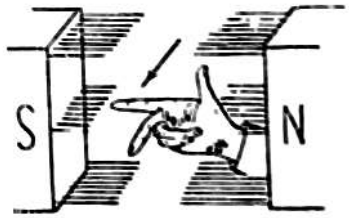
koje se induciraju slabljenjem ili nestajanjem istog magnetskog polja. Ako koje magnetsko polje naizmence nastaje i nestaje, inducirane su struje izmenične.

Kad se magnet, koji na nekom određenom mestu razvija svoje magnetsko polje, od tog mesta naizmence udaljuje i opet natrag vraća, onda je očito, da se i samo magnetsko polje na istom mestu naizmence slabi i pojačava, pa se zato u svakom vodiću, koji se nalazi na tom mestu i tvori zgodan zatvoren krug, induciraju trenutačne protusmerne struje. Isto se to i onda događa, kad se vodić zgodno giblje a magnet miruje. No buduć svaka struja, koja prolazi kojim vodićem, stvara svoje magnetsko polje, koje je tim jače, čim je i struja jača, to će i svaka promena ove struje izazvati istodobno i promenu vlastitog magnetskog polja, pa će se zato u svakoj zatvorenoj žici inducirati trenutačne struje, ako u kojoj bližnjoj žici postoji kakva promenjiva struja.

Inducirane struje ulaze svaki put u žicu, kad ova seče magnetske silnice, ili — što je svejedno — kad silnice pri svom gibanju (kod promene magnetskog polja) seku istu žicu.

Čim više silnicâ preseče koja žica u jedinici vremena, tim je veća elektromotorna napetost, koja se u njoj budi, a onda je po Ohmovu zakonu i jakost inducirane struje tim veća, ako je žica zatvorena u zgodan krug.

Pravilo desne ruke: Palac, kažiprst i srednji prst desne ruke ispruže se međusobno okomito i ruka se onda postavi (ili se to samo zamisli) u magnetsko polje tako da palac kaže, kojim se smerom giblje vodić (na pr. žica) a kažiprst kaže, kojim smerom idu silnice magnetskog polja (ove idu uvek od severnog pola k južnomu). Onda nam srednji prst kaže smer inducirane struje.



Sl. 50.

Imade slučajeva, da nema induciranih struja i ako žica seče magnetske silnice, kao na pr. kad jedan zavoj žice prolazi preko homogenog magnetskog polja sekuć njegove silnice.

Sl. 51.

Sl. 52.

U ovom se slučaju induciraju istodobno dve struje međusobno protivna smera a po jakosti jednake pa se poništavaju.

No ako magnetsko polje nije homogeno već na pr. smerom gibanja čim dalje tim jače, onda se, kako ova druga slika kaže, u gornjem delu žice inducira struja veće napetosti negoli u donjem delu, pa prevladava gornja struja i rezultira inducirana struja, koja ima smer gornje struje a elektromotorna joj je napetost jednaka razlici obiju elektromotornih napetostî.

Al može se zgodno udesiti takav krug od žice da na pr. u homogenom magnetskom polju samo jedan deo kruga seče silnice a da ih drugi ne seče, pa se u tom slučaju dobijaju jače inducirane struje kao kod dinamostrojeva. Ako kojom žicom prolazi promenjiva struja, na tom se mestu menja magnetsko polje, pa ove promene polja induciraju u istoj žici tako zvane „ekstrastruje“. Zato struja kod zatvaranja kakve baterije ne daje jaku iskru na mestu zatvaranja, jer se u isti čas inducira i ekstrastruja, koja je protivna smera pa slabi prvu struju; dočim kod prekida struje, kad se naime javlja ekstrastruja istog smera, te pojačava prvu struju, iskra je na mestu prekida mogo jača.

Ukratko: Usled takozvane vlastite iudukcije iskra je otvaranja jača od iskre zatvaranja.

Osobito su jake ekstrastruje u žici, koja je savita u obliku spirale, t. j. kod solenoida.

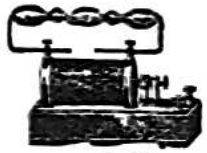
XXII. Induktori

su sprave koje služe za dobivanje takozvanih „induciranih struja“ pomoću prekidača. Dva svitka žice stoje jedan unutar drugoga. Unutarnji je svitak od deblje i kraće žice (jedan ili dva sloja), takozvani „primarni svitak“, a u njegovoj šupljini ima snop tankih šibaka od meka železa*),

*) Mesto mekog železa u jednom komadu uzima se rađe snop železnih šibaka, međusobno izoliranih, jer se tim onemogućuju takozvane „Foucault-ove struje“, koje bi slabile delovanje aparata.

de se pojača magnetsko polje, kad tim svitkom ide struja, dočim se vanjski svitak, takozvani „sekundarni svitak“, sastoji od vrlo tanke žice i od vrlo mnogo zavoja (više slojeva, tako da kod većih induktora ova tanka žica može biti i na kilometre duga).

Ruhmkorff-ov induktor služi za bezbroj vrlo zanimivih i vrlo važnih eksperimenata. To je tako važan aparat u elektrotehnici, da ga susrećemo u mnogim njezinim poglavljima (Vidi II. svezak: Dobivanje Röntgenovih zraka, Mala telegrafija bez žica, Mala Teslina svetlost). Ova slika prikazuje jedan ovakav aparat. Tu je automatski prekidač (Wagnerov prekidač), koji u vrlo brzom tempu prekida primarnu struju, a ova inducira u sekundarnom svitku niz trenutačnih struja dosta visoke napetosti, tako da između njegovih konduktorâ skaču električne iskre, a kad se umetne među iste konduktore Geissler-ova cev, nastaju u njoj razni pojavi svetla. Ako se mesto Geissler-ove cevi postavi Hittorf-ova ili Crookes-ova cev (Vidi o tom pobliže u IIom svesku u poglavlju: Dobivanje Röntgen-ovih zraka), nastaju u njima osobite zrake, od kojih su vrlo važne „katodne zrake“, a ove su opet uzrokom „Röntgenovih zraka“.



Sl. 53.

Od svih raznovrsnih prekidača u maloj je elektrotehnici dovoljan najprostiji prekidač: Wagnerov prekidač, koji se vidi na predašnjoj slici desno od kotura. Primarna struja, koja preko takozvanog kontakta i otale preko elastične poluge ide primarnim svitkom, stvara magnetizam u njegovoj jezgri, pa kad se elastična poluga, na kojoj je mala železna kotva, prikloni prema toj jezgri, koja ju privlači, u taj se čas struja prekine, jer elastična poluga ne dira kontakta. Al tad prestane i magnetizam u jezgri, pa se elastična poluga, koju jezgra više ne privlači, baš poradi vlastite elastičnosti povrati opet natrag na kontakt, a onda se ponavlja opet isto što i prê, t. j. struja opet prođe, jezgra postane magnet pa opet privlači elastičnu polugu, a ova u taj čas opet prekine struju i to traje automatski dalje.

U sanduku, na kojem leže prekidač i oba svitka (primarni i sekundarni), ima kondenzator, koji se sastoji od mnogo listova parafiniranog papira i isto toliko nešto užih listova staniola među nje naizmence položenih. Ovi listovi od staniola, koji su u ostalom jednake dužine kao i listovi od papira, tako su na stranu pomaknuti, da pretiču naizmence sad na jednoj sad opet na drugoj strani preko listova od papira; ovi su pretički na svakoj strani međusobno spojeni i čine tako dva kraja, odakle idu dalje dve žice, jedna do jednog kraja primarnog svitka a druga do stezaljke, koja je u spoju s kontaktom prekidača. Ovaj kondenzator, budući je ploština svih listića od staniola dosta velika, može da kondenzira toliko elektricitete, koliko i jedna Leydenska baterija, pa njegova dva kraja predstavljaju dva pola baterije, naime dva njezina obloga (unutarnji i vanjski). Kondenzator služi za slabljenje iskara na prekidaču te po tom za slabljenje svih ostalih loših posledicâ (Vidi potanje u II^{om} svesku a u poglavlju: Dobivanje Röntgen-ovih zrakâ).

Sl. 54.

Mali induktor, takozvani aparat za indukciju, koji rabi samo za fiziološke učinke (u elektroterapiji), građen je prosto bez kondenzatora i udešen je ponajviše tako da se prema potrebi mogu regulirati sad jače sad slabije struje.

Na svakom je boljem induktoru označena potrebita napetost na stezaljkama, koja se ne sme prekomerno prekoračiti, jer onda prejaka struja može lako da pokvari celi aparat.

XXIII. Mali dinamostrojevi i elektromotori.

Dinamostrojevi pretvaraju mehaničku energiju direktno u električnu. Oni su mehanički izvori električne struje.

Dinamostroj, nazvan opštim imenom „generator“, sastoji se od kotve (to je uglavnom železni valjak zgodno omotan izoliranim bakrenim žicama) i od magneta ili elektromagneta.

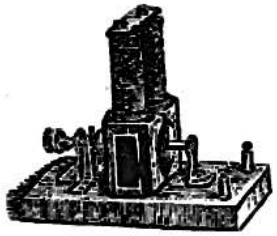
Delovanje generatora temelji se na pojavu indukcije. Dok se kotva vrti a svitci žicâ presecaju silnice magnetskog

polja bude se indukcijom u žici elektromotorne napetosti, i dobivaju se električne struje, kad se krajevi pojedinih svitaka spoje u zatvoren krug.

Sl. 55.

Sl. 56.

Sl. 57.



Sl. 58.

Sl. 59.

Sl. 60.

Dve su vrste ovih strojeva:

Generatori istosmerne struje,
Generatori izmenične struje.

Kod prvih je potrebita sprava „komutator“, kojoj je zadaća da inducirane izmenične struje na zgodan način hvata i pretvara u niz istosmernih trenutačnih struja, a ove svojim brzim sledom rezultiraju kao trajna istosmerna struja. Kod drugih nema komutatora, njihova se struja sastoji od brzog niza (ponajčešće 100 puta na sekundi) trenutačnih protusmernih strujâ. Ovakovi generatori izmenične struje služe često velikoj elektrotehnici i to osobito onda kad je potrebito dobijati struju vrlo visoke napetosti (Vidi zadnje poglavlje „Transformatori“). Maloj elektrotehnici služe ponajčešće samo mali generatori istosmerne struje, „mali dinamostrojevi.“

Elektromotori su u principu isto što i generatori, samo što im je svrha protivna, jer električna struja, koja

ulazi u elektromotor, izvodi vrtnju njegove kotve, t. j. elektromotori pretvaraju električnu energiju u mehaničku. Postoje dakako i elektromotori za istosmernu struju i elektromotori za izmeničnu struju. Ovi služe velikoj elektrotehnici, a uklapaju se u jaku izmeničnu struju, dok se oni prvi grade i u vrlo malim veličinama dakle i za potrebu male elektrotehnike.

XXIV. Električna energija.

Energija (ili snaga) u mehanici znači sposobnost rada i meri se veličinom same radnje. Praktična je jedinica 1 kgm (kilogrametar), t. j. radnja, koja se izvrši kad se težina od 1 kg digne 1 m visoko. U apsolutnom, t. z. cm — gr — sec — sistemu dolaze druge jedinice radnje, od kojih spominjemo ovde:

$$1 \text{ Joule}^{*}) = \frac{1 \text{ kgm}}{9{,}81}.$$

Broj 9,81 je ubrženje sile teže: g izraženo metrima. Dakle 1 Joule je otprilike isto što i jedna desetina kilogrametra, t. j. $1 \text{ Joule} \approx \frac{1}{10} \text{ kgm}$ ili $1 \text{ kgm} = g$ Joule-â ≈ 10 Joule-â.

Ako na pr. dignemo teret od 25 kg 8 m visoko, izvršimo radnju od $25 \cdot 8 \text{ kgm} = 200 \text{ kgm} \approx 2000$ Joule-â.

Radnja izvršena u jedinici vremena, na pr. u 1 sec, zove se „efekt“ ili „sekundna radnja“. Isto se tako i snaga u 1 sec zove „efekt“ ili „sekundna snaga“ ili naprosto samo „snaga“.

Jedinice efekta:

$1 \frac{\text{kgm}}{\text{sec}}$ t. j. 1 kgm izvršen u 1 sec, a zove se „sekundni kgm“,

$1 \frac{\text{Joule}}{\text{sec}}$ t. j. 1 Joule izvršen u 1 sec, a zove se „Watt“,

1 HP**) t. j. 1 konjka snaga $= 75 \frac{\text{kgm}}{\text{sec}} = 9{,}81 \cdot 75 \frac{\text{Joule}}{\text{sec}}$
≈ 736 Wattâ.

*) Čitaj: Džaul.

**) Engleski naziv: HP = Horse Power = konjska snaga.

Električna se energija meri na temelju formule $\epsilon = V \cdot \epsilon$,

t. j. Energija = Potencijal · Električna množina.

Potencijal V (takozvana „napetost“) izrazuje se praktičnom jedinicom „Volt“, a električna množina ϵ jedinicom „Coulomb“.

Prema tome je jedinica energije:

1 Volt · 1 Coulomb = 1 Voltcoulomb.

Jedinice Volt i Coulomb, čije definicije nalazimo u II^{om} poglavlju, tako su jedamput za uvek odabrane da izlazi baš

1 Voltcoulomb = 1 Joule.

Radi li se o električnoj struji, polazi se najrađe s ove formule za energiju struje: $\epsilon = E \cdot J \cdot t$,

t. j. Energija = Napetost · Jakost · Vreme.

Napetost (elektromotorna ili na stezaljkama) izrazuje se Voltima, jakost struje Amperima, a vreme sekundama. Dakle jedinica je energije:

Jedna Voltampersekunda = 1 Volt · 1 Ampère · 1 sec, a to je (kad se uvaži odnošaj: $1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{\text{sec}}$) opet isto kao i prê t. j.

Jedna Voltampersekunda = 1 Voltcoulomb = 1 Joule. Buduć je efekt = radnja izvršena u 1 sec, to se efekt izrazuje sekundnim Voltcoulombima, t. j. sekundnim Joule-ima, dakle Wattima.

Ako je govora o efektu električne struje, polazi se s formule:

Efekt = E · J.

Po ovoj je formuli jedinica efekta:

1 Volt · 1 Ampère = 1 Voltamper.

Kad se pak uvaži, da je $1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{\text{sec}}$, izlazi

$$1 \text{ Voltamper} = \frac{1 \text{ Volt} \cdot 1 \text{ Coulomb}}{\text{sec}} = \frac{1 \text{ Voltcoulomb}}{\text{sec}} = \frac{1 \text{ Joule}}{\text{sec}}$$

= 1 Watt, kako se je moralo i očekivati.

U elektrostatici se pod potencijalom V podrazumeva električna napetost, što ju ima kakav nabiveni konduktor,

a izrazuje se Voltima. Spojimo li doticajem prsta takav konduktor sa Zemljom, prostrujit će preko našeg tela u tren oka električna struja velike napetosti (t. j. velikog broja Voltâ), al male jakosti (t. j. malog broja Ampère-â i prema tome vrlo malog broja Coulomb-â, jer struja ne traje ni izdaleka 1 sec), pa ćemo njezinu energiju osetiti samo kao slab trzaj. Ispraznimo li preko našeg tela nabivenu Leydensku bocu, osetićemo jači trzaj, jer ovde je uz vrlo velik broj Volta također nešto veći broj Coulomb-â (i Ampère-â), pa je zato i energija veća. Ispraznimo li pak Leydensku bateriju preko našeg tela, prímićemo još jači fiziološki učinak, a velika nas Leydenska baterija može i usmrtiti.

Od električne struje, gde ima preko 100 Volta a pogotovo kad je izmenična, može čeljade također nastradati, ako preko njegova tela prođe ne odveć malo Ampera.

Kad bi na pr. struja od 200 Voltâ i 3,68 Ampère-a prošla kroz čije telo, ovo bi primilo trzaj, koji odgovara efektu:

$$200\ V \cdot 3{,}68\ A = 736\ VA = 736\ Wattâ = 1\ HP,$$

naime efekfu od jedne konjske snage.

Da pak struja od 200 Voltâ napetosti prođe kroz nečije telo jakošću od 3,68 Ampère-a, moralo bi to telo da ima otpor od 54,35 Ω.

No otpor čovečeg tela može da varira vrlo mnogo. Ne samo vanjske okolnosti na pr. cipele, rukavice i slično, nego i samo unutarnje živčano raspoloženje upliva jako na otpor čovečeg tela.

Međutim u maloj elektrotehnici, gde se ne barata nego malim brojem volta, ne može struja gotovo ni proći preko našeg tela, a ako kojiput na primer kod elektrostatskih eksperimenata i prođe, tako je slaba, da nam ne može naškoditi, pa možemo sebi dozvoliti i najveći neoprez. Mala elektrotehnika upravo tretira malu bezazlenu električnu energiju.

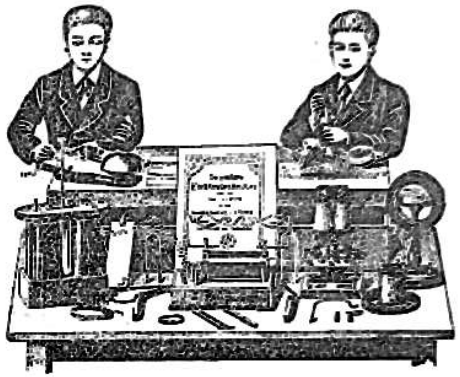
XXV. Transformatori

su sprave, koje transformiraju (pretvaraju) izmenične struje visoke napetosti a razmerno male jakosti u izmenične struje

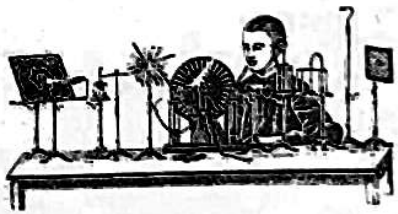
niske napetosti a razmerno veće jakosti i obratno. Dva solenoida, jedan (na pr. unutarnji) s malo debele, a drugi (na pr. vanjski) s mnogo tanke žice, predočuju svaki transformator u principu. Ako se izmenična struja niske napetosti dovodi na unutarnji svitak, onda se iz vanjskog svitka odvodi transformirana izmenična struja visoke napetosti a razmerno male jakosti pa se kao takova može bez osetljiva gubitka na velike daljine preneti. Na mestu dolaska ima drugi transformator, koji tu struju opet transformira u struju niže napetosti a velike jakosti, jer je baš ovakova struja zgodna za praktičnu upotrebu, gde električna energija putem raznih spravâ prelazi u: energiju svetla, mehaničku energiju, energiju topline i t. d.

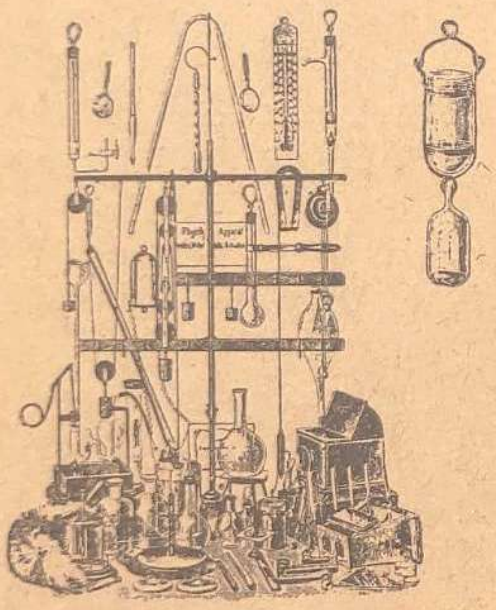
Veliki transformatori zauzimlju važno mesto u velikoj elektrotehnici izmenične struje, a maleni transformatori služe u telefoniji. Po istom je principu konstruiran i Teslin transformator, koji susrećemo i u našoj maloj elektrotehnici (Vidi II^{i} svezak, zadnje poglavlje).

I sami su induktori neka vrsta transformatora, al oni se upotrebljavaju samo za istosmernu struju, koja se najprê zgodnim prekidačima prekida i onda transformira u izmeničnu struju visoke napetosti. Ako se pak polovi induktora međusobno dovoljno razmaknu, onda između njih skaču samo tako zvane „pozitivne iskre“, pa transformirana struja visoke napetosti opet je istosmerna al dakako na mahove prekidana.



Experimentierkasten
„Magnetismus"





Fizičke, hemijske i prirodopisne zbirke za školske laboratorije (za osnovne, građanske, srednje i njima slične škole), manje zbirke za male privatne laboratorije, aparate i materijal za malu elektrotehniku, zatim risaći pribor i kancelarijske predmete (važno za škole i urede) pribavlja

Tvrtka: **M. VUKASOVIĆ**
SPLIT
Brankov prilaz 5

Tražite prospekte!